



EFFECTO DE HELADAS EN POST-FLORACIÓN DEL MAÍZ, EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA COSECHA

Presentado por:

ANA ARBUÉS OSÉS

Septiembre 2011

INDICE:

1.INTRODUCCIÓN.....	5
2. ANTECEDENTES.....	6
2.1. Aspectos generales del Maíz	6
1 Superficies, Producciones y Rendimientos	6
1 Taxonomía y Botánica.....	7
1 Fases del cultivo	8
2.2. Calidad del grano. Aprovechamientos.....	10
1 Aprovechamiento.....	10
1 Calidad del grano.....	11
1 El problema de los nitratos	12
1 Incidencia del ambiente y del manejo de cultivo.	15
1 Valor nutritivo del ensilaje.	15
2.3. Temperatura y desarrollo de la planta	16
2.4. Fundamento físico y características de las heladas	18
1 Concepto de helada y congelación	18
1 Clasificación de las heladas.....	19
1 Elementos meteorológicos que afectan la formación de heladas	21
1 Parámetros que caracterizan una helada.....	23
2.5. Evaluación de daños y métodos de actuación	24
2.6. Efectos de las heladas en el maíz.....	25
2.7. Mecanismos de defensa ante las heladas.....	30
3. OBJETIVOS.....	33

4. MATERIAL Y MÉTODOS	34
4.1. Localización.....	34
4.2. Características climáticas	34
4.3. Material Vegetal	35
4.4. Siembra.....	36
4.5. Labores	37
1 Fertilización.....	37
1 Riego.....	40
1 Malas hierbas.....	41
1 Plagas y Enfermedades.....	41
4.6. Recolección	42
4.7. Diseño experimental	43
4.8. Método de aplicación de las heladas	49
4.9. Mediciones realizadas durante el cultivo.....	50
4.10. Mediciones realizadas en la recolección	51
4.11. Determinaciones analíticas	52
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
5.1. Controles a lo largo del ciclo.....	54
5.2. Controles al final del ciclo.....	58

5.2.1. Variedad 400 (PR35Y65, PIONEER)	58
5.2.2. Variedad 600 (PR35Y74, PIONEER)	68
5.2.3. Comparación de variedades.....	79
5.3. Curvas de reducción	89
5.3.1. Variedad 400 (PR35Y65, PIONEER).....	90
5.3.2 Variedad 600 (PR35Y74, PIONEER).....	95
6. Conclusiones.....	110
7. Bibliografía.....	103

1. INTRODUCCION

Este Trabajo Final de Master tiene por objeto el estudio de los efectos de heladas en post-floración del maíz, en la producción y calidad de la cosecha. La acción de las temperaturas de heladas pueden provocar desequilibrios metabólicos e influir directamente sobre las funciones fisiológicas de las plantas, que posteriormente se pueden ver reflejadas en los rendimientos obtenidos durante su recolección (Pascual 1999). Las heladas al inicio de la primavera o del otoño ocurren periódicamente, pudiendo causar un daño significativo en la planta del maíz. La propuesta de realización de este trabajo tiene el propósito de analizar qué síntomas presentan las plantas afectadas, y en que modo se ve alterada tanto la producción como la calidad de la cosecha.

Este análisis se ha realizado en colaboración con la Agrupación Española de los Seguros Agrarios Combinado, AGROSEGURO S.A., que gestiona el sistema de seguros agrarios e integra entidades aseguradoras nacionales y extranjeras.

El sistema español de Seguros Agrarios, está basado en una serie de contratos que tienen como finalidad dar cobertura a riesgos que afectan a las producciones, pero con una peculiaridad atmosférica de la naturaleza, cuya intensidad, cuando se producen, pueden alcanzar resultados catastróficos. Estos riesgos son fundamentalmente, el granizo, la helada, la sequía, la inundación, el viento y las lluvias persistentes (Fernández, 2006).

El análisis se ha hecho para la cobertura de daños por helada, siendo este parámetro el tercer siniestro en importancia a nivel estatal, según datos del Ministerio Ambiente y Medio Rural y Marino para el año 2009, como se muestra en la Figura 1. Pedrisco y sequía son las otras dos grandes incidencias medioambientales que producen mermas en las producciones agrícolas.

El estudio está elaborado con vistas a las provincias más frías de la geografía española (León, Palencia, Burgos, Soria, Teruel, etc). Según el MARM, la distribución territorial del riesgo de helada para estas provincias está entre los rangos de moderado y muy alto. Muchas de estas capitales se encuentran en llanuras situadas a considerable altitud sobre

el nivel del mar, rodeadas por varios montes (Instituto Geográfico Nacional, 2010). Su carácter interior suele determinar que el clima sea mediterráneo continentalizado, con una amplia oscilación térmica (Instituto Nacional de Meteorología, 2010).

El trabajo está dividido en los siguientes bloques:

- Antecedentes: información previa utilizada para la elaboración y ejecución del TFM. Temas tanto globales (aspectos generales del maíz, fundamento y características de las heladas...) como particularidades (evaluación de daños por heladas en maíz, sintomatología y efectos, mecanismos de defensa...).
- Objetivos del TFM
- Material y Métodos: elementos utilizados en los ensayos.
- Resultados del ensayo. Van acompañados de sus comentarios y discusión.

2. ANTECEDENTES

2.1 Aspectos generales del Maíz

- **Superficies, Producciones y Rendimientos.**

El maíz es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo (FAO, 2008). La serie histórica de la superficie, producción y rendimiento del maíz en España (Instituto Nacional de Estadística, 2010) Tabla 1.

Tabla 1. *Superficies, producciones y rendimientos históricos en España.*

Año	Superficie (Miles de ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (Miles de t)
1980	368,6	1450,8	536,2
1990	466,3	9390,7	3991,8
2000	424,9	9390,7	3981,4
2005	484,8	8210,7	3981,4
2006	448,7	7480,5	3610,9
2007	438,4	8230,1	3610,9
2008	454,2	8410,3	3819,8

El 70% es cereal de la superficie total cultivada en España. Dentro del sector, el maíz supone un 5,5%. El incremento del rendimiento del maíz en los últimos 16 años (1992-2008) es de un 47% (Coyuntura Agraria, 2010).

Por Comunidades Autónomas, en el año 2008 (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010), las más productivas fueron las que se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2. Producciones por CCAA en 2008.

Comunidad Autónoma	Producción (Miles de tn)
Castilla y León	1.042.223
Extremadura	672.888
Aragón	580.171
Castilla La Mancha	475.738
Cataluña	318.705
Andalucía	312.173
Navarra	149.163
Galicia	87.479
Madrid	54.873
Comunidad Valenciana	7.658
La Rioja	7.551
Baleares	2.602
Región Murcia	2.318

- **Taxonomía y Botánica**

El maíz (*Zea Mays*), pertenece a la familia de las gramíneas. Se trata de un cereal (Guerrero, 1992).

El sistema radicular es fasciculado, de gran potencia y de rápido desarrollo. Su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. De porte robusto, puede alcanzar hasta 4 metros de altura.

Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas y paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes.

Es una planta monoica, con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. La inflorescencia masculina presenta una panícula de coloración

amarillenta en la parte superior de la planta. La inflorescencia femenina por su parte, se forma en unas estructuras vegetativas que se disponen de forma lateral. La fecundación de las flores femeninas puede hacerse por polen de las mismas plantas, o lo más normal, de otras, siendo este motivo de encontrar una gran variabilidad genética (Guerrero, 1992).

La mazorca está formada por un parte central llamada zuro, que representa entre el 15 y 30 % del peso de la espiga. El grano se dispone en hileras longitudinales, teniendo cada mazorca varios centenares (Guerrero, 1992).

- Fases del cultivo

En el ciclo vegetativo del maíz pueden destacarse las siguientes fases (Guerrero, 1992):

- **Nascencia:** comprende el período que transcurre desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, cuya duración aproximada es de seis a ocho días.
- **Crecimiento:** una vez nacido el maíz, aparece una nueva hoja cada tres días si las condiciones son normales. A los 15-20 días siguientes a la nascencia, la planta debe tener ya cinco o seis hojas, y en las primeras 4-5 semanas la planta deberá tener formadas todas sus hojas.
- **Floración:** a los 25-30 días de efectuada la siembra se inicia la panoja en el interior del tallo y en la base de éste. Transcurridas 4 a 6 semanas desde este momento se inicia la liberación del polen y el alargamiento de los estilos. Se considera como floración el momento en que la panoja se encuentra emitiendo polen y se produce el alargamiento de los estilos. La emisión de polen dura de 5 a 8 días, pudiendo surgir problemas si las temperaturas son altas o se provoca en la planta una sequía por falta de riego o lluvias.
- **Fructificación:** con la fecundación de los óvulos por el polen se inicia la fructificación. Una vez realizada la fecundación, los estilos de la mazorca, vulgarmente llamados sedas, cambian de color, tomando un color castaño. Transcurrida la tercera semana después de la polinización, la mazorca toma el tamaño definitivo, se forman los granos y aparece en ellos el embrión. Los

granos se llenan de una sustancia leñosa, rica en azúcares, los cuales se transforman al final de la quinta semana en almidón.

- Maduración y secado: hacia el final de la octava semana después de la polinización, el grano alcanza su máximo de materia seca, pudiendo entonces considerarse que ha llegado a su madurez fisiológica. Entonces suele tener alrededor del 35% de humedad.

A medida que va perdiendo la humedad se va aproximando el grano a su madurez comercial, influyendo en ello más las condiciones ambientales de temperatura, humedad ambiente, etc..., que las características varietales (Guerrero, 1992).

Por tanto, desde la siembra hasta la recolección, la planta pasa por una serie de estadios que se pueden resumir en fase vegetativa (germinación, emergencia y formación de las 8-9 hojas); fase reproductiva (floración masculina y femenina, y formación de los granos); y fase de maduración (llenado del grano pasando por diferentes estados: lechoso, pastoso, vidrioso...)

En el apartado Material y Métodos del presente documento, se especifica con detalle los momentos fisiológicos en los que se ha intervenido con heladas a las plantas en cuestión, aunque estos corresponderán fundamentalmente al periodo de maduración.

El período de llenado de grano comienza con el éxito en la polinización y termina aproximadamente 60 días más tarde, cuando los granos están fisiológicamente maduros. Durante el llenado de grano, los granos en desarrollo serán el principal destino de los fotoasimilados producidos por la planta de maíz. Lo que esto significa es que la demanda de fotoasimilados de los granos en desarrollo tendrá prioridad sobre el resto de la planta. Un período de llenado del grano libre de estrés puede maximizar el potencial de rendimiento de un cultivo, mientras que el estrés grave durante el llenado de grano puede causar aborto de granos y fomentar el desarrollo de la pudrición del tallo (Nielsen, 2008).

2.2. Calidad del grano. Aprovechamientos.

▪ Aprovechamiento

La calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como con su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas. La importancia relativa de estas características resultará del destino de la producción (INTA, 2006).

El maíz tiene múltiples usos que se pueden agrupar en el aprovechamiento del grano (alimentación humana, alimentación del ganado, materia prima en la industria, semilla); aprovechamiento de la planta (forraje verde, ensilado, rastrojo, materia orgánica del suelo) y aprovechamiento del zuro (combustible, industria química).

En cuanto al aprovechamiento de la planta, los tallos son aprovechados en verde en el maíz forrajero. En seco puede servir para fabricar pasta de papel. Su peso en seco se aproxima al peso de los grano. Aunque sería conveniente enterrar los tallos para incorporarlos al suelo como materia orgánica, por la dificultad de su incorporación es frecuente juntarlos en montones y quemarlos. No obstante, hoy se va extendiendo el uso de desbrazadoras mecánicas para su incorporación posterior al terreno (Guerrero, 1992).

Los zuros constituyen un excelente combustible; dos toneladas equivalen, aproximadamente, a una tonelada de carbón. Los zuros tienen muchos aprovechamientos, sobre todo para la obtención de productos utilizados en la industria química (Guerrero, 1992).

Pero que duda cabe, que el principal aprovechamiento es el del grano, ya sea para alimentación humana o animal, para materia prima en la industria, o para semilla. El substancial uso es para alimentación del ganado, incorporándose siempre en los piensos compuestos para aves y siendo muy utilizado en la alimentación de los cerdos, sobre todo constituyendo una parte importante en las raciones de engorde. De igual modo, es útil el maíz en la industria, especialmente para la fabricación de almidón, para algunas harinas de alimentación humana, para la obtención de aceite, etc. (Guerrero, 1992).

▪ Calidad del grano

Los mercados son cada vez más exigentes y se interesan por el contenido de proteínas, aminoácidos, almidón, aceites y demás componentes, y paulatinamente se reduce la tolerancia a sustancias contaminantes. Para las industrias que emplean grano de maíz, su calidad y propiedades tecnológicas son una preocupación fundamental. Se requieren granos sanos, limpios, uniformes de tamaño, textura y color.

Así pues, a la hora de valorar la calidad del grano de maíz, deberemos centrarnos en una serie de propiedades (INTA, 2006):

- **Composición.** El grano maduro de maíz está integrado por distintos tejidos que conforman: el germen o embrión (12%), responsable de formar una futura nueva planta; el endospermo (82%), estructura de almacenamiento del grano que constituye su principal reserva energética; y el pericarpio o cubierta del grano (5%), que protege a la semilla de la entrada de hongos y bacterias antes y después de la siembra. El restante 1% corresponde a los restos del pedicelo en la base del grano.
- **Dureza.** La dureza del grano es la resistencia que posee a la acción mecánica o al quebrado durante la cosecha y la poscosecha. Esa resistencia, que determina la calidad que posee el grano para su uso y conservación, se relaciona de forma directa con la dureza del endospermo, que a su vez, se debe a la relación entre los endospermos córneo y harinoso, y en menor medida, a la compactación de los componentes celulares, al grosor de la matriz proteica que rodea a los gránulos de almidón y al grosor del pericarpio. Tanto mayor será la dureza del grano, cuanto mayor sea la proporción de endospermo córneo que lo componga.
- **Relación entre proteína y dureza.** Los aumentos en el porcentaje de proteínas de los granos, por lo general, se asocian con aumentos en la calidad de los mismos. Las principales proteínas de reserva que posee el grano de maíz son las zeínas. Estas presentan cuatro tipos estructurales distintos: alfa, beta, delta y gama. Se agrupan en estructuras llamadas “cuerpos proteicos”, en los cuales se destacan

por su abundancia las alfas y las gama zeínas. La estructura primaria de las gama zeínas, su capacidad de unirse mediante enlaces disulfuro, su localización en los cuerpos proteicos, su homología con proteínas estructurales y su mayor deposición en los endospermos vítreos sugieren que esta proteína participa en la determinación de las propiedades físicas o dureza del grano de maíz. La dureza es determinada por el ligamento entre el almidón y las proteínas del endospermo. En la fracción córnea del endospermo, el almidón y la proteína se encuentran muy fuertemente ligados, mientras que en la fracción harinosa sólo están débilmente ligados.

Con todo ello, las propiedades más solicitadas, en función del aprovechamiento son:

- Maíz para ganado: se valorarán los porcentajes de aceite, proteína y el almidón del grano, así como la calidad de su proteína y el tipo de su almidón. Los maíces con alto contenido de aceite y menor proporción de carbohidratos hacen un mayor aporte energético a la dieta de animales.
- Maíz para industria: La industria en los países desarrollados emplea el maíz en casi un millar de aplicaciones diferentes fundamentales en la composición química del grano. Por ejemplo para la industria de la molienda seca y húmeda tiene exigencias de calidad algo distintas.

Lo que queda claro es que daño producidos por heladas de última hora pueden afectar a la calidad del grano y son directamente proporcionales a la etapa de madurez y porcentaje de tejidos foliares necrosados. Las diferencias entre los híbridos, el vigor general de la planta en el momento de las temperaturas de helada y el posterior manejo del cultivo, son los parámetros que más afectarán a la calidad del grano final (Lauer, 2004).

- **El problema de los nitratos.**

Algunos productores han expresado su preocupación sobre el envenenamiento del ganado por nitratos. Es prudente seguir las precauciones con respecto a peligros de la toxicidad del nitrato para el ganado, especialmente con el pastoreo y picado en verde (Lauer, 2004).

Los nitratos son absorbidos del suelo por las raíces de las plantas y son normalmente incluidos en el tejido vegetal como aminoácidos, proteínas y otros compuestos nitrogenados (Hoseney, 1991). Por lo tanto, la concentración de nitratos en la planta es generalmente baja. De hecho, cuando las condiciones son favorables para el crecimiento, el nitrógeno emigra hacia la parte superior del tallo hasta las hojas, donde se incorpora a las proteínas. En condiciones normales, cuando la planta se acerca a la madurez, los niveles de nitratos disminuyen gradualmente a cero. El sitio principal para la conversión de nitratos a estos productos es mayoritariamente en las hojas verdes (Lauer, 2004).

Los niveles de nitrato de los cultivos que han sufrido heladas antes de la cosecha son más altos de lo normal. Esto puede afectar a la salud animal y, en casos extremos, puede desembocar en pérdidas de existencias (Cheftel et al., 1989). La mayor concentración de nitratos se encuentra en la parte inferior del tallo o tronco, por lo que elevar la barra de corte va a contribuir a dejar la mayor parte nitratos en el campo (Hoseney, 1991).

La concentración de nitratos por lo general disminuye durante la fermentación del ensilaje entre un tercio y la mitad, por lo que el muestreo de una o dos semanas después del llenado será más preciso que el muestreo durante el llenado (Lauer, 2004).

Según Cheftel et al (1989), existen una serie de actuaciones encaminadas a la gestión del cultivo, con el objetivo de reducir el riesgo de intoxicación por nitratos del ganado:

- Retraso de la cosecha cuando sea posible. A condición de que el cultivo no pierda excesiva humedad (quede demasiado seco), el retraso de la cosecha por lo menos de tres días después de una helada, es una buena solución. Esto disminuirá los niveles de nitrato.
- Si un cultivo que ha sufrido helada tiene que ser picado inmediatamente porque está muy próximo a secarse, se debería considerar el dejar un rastrojo de 30 cm. El motivo es que la acumulación de nitratos es mayor en la parte inferior del tallo, como se ha comentado en párrafos anteriores.
- Los cultivos de maíz para ensilaje deben fermentar unas tres semanas antes de la alimentación del ganado. Lo mejor es que los cultivos que hayan sufrido heladas, se destinen a la alimentación en forma de ensilaje en lugar

de suministrarse en verde, porque la experiencia de campo ha demostrado que la fermentación puede reducir los niveles de nitrato de las plantas.

- Es recomendable realizar una prueba de nitratos en forraje cuando se destine el cultivo tanto a verde, picado o ensilado. Para consumo en verde, la prueba se realizará inmediatamente antes de la alimentación. Se repetirá la prueba antes de la alimentación. Si los niveles son altos, la altura de la cosecha necesariamente tendrá que sufrir un aumento.

La Tabla 4 muestra las directrices en cuanto a la “seguridad” de los niveles de nitrato en el ensilaje (Cheftel et al., 1989).

Tabla 4. Niveles aceptables de nitratos en la alimentación del ganado.

Ion nitrato	Nitrógeno en nitratos (ppm)	Comentarios
0,0 – 0,44	< 1.000	Generalmente seguro para el ganado.
0,44 – 0,88	1.000 – 2.000	Generalmente seguro para ganado vacío. Bajo riesgo de abortos. Baja posibilidad de reducir comportamiento reproductivo.
0,88 – 1,54	2.000 – 4.000	Algo de riesgo para el ganado. Puede causar abortos y animales débiles. Puede reducir ganancias.
Más de 1,76	> 4.000	Potencialmente tóxico para el ganado. Puede causar abortos, síntomas de toxicidad y muerte.

▪ **Incidencia del ambiente y del manejo de cultivo.**

Según Balcarce (2006), existen distintos tipos de daños en base al manejo del cultivo y la incidencia de las condiciones ambientales sobre él, que influyen sobre la calidad final del grano:

- Daños físicos o mecánicos: La calidad del grano de maíz puede verse afectada tanto en el campo, como en la cosecha y poscosecha. Los daños físicos o mecánicos pueden ser externos y/o internos. Los daños externos consisten en cortes y abrasiones del pericarpio del grano, mientras los daños internos se manifiestan en forma de fisuras en el endospermo córneo.
- Daños biológicos: Son responsables del daño, calentamiento y posible combustión de los granos de maíz durante el almacenamiento. Vienen desencadenados por varias especies de hongos de los géneros *Penicillium* y *Asperillus*. Los hongos que atacan al grano de maíz en el campo requieren alto contenido de humedad en el grano y raramente sobreviven en el almacenamiento. Los hongos responsables de tales ataques corresponden generalmente a los géneros *Fusarium* y *Giberella*.
- Porcentajes de proteína en el grano: Las variaciones climáticas y las condiciones de cultivo determinan modificaciones en el porcentaje de proteínas del grano. Varios autores hallaron que una buena nutrición nitrogenada en maíz aumenta la densidad del grano, reduciendo la susceptibilidad al quebrado. Ello se produce como consecuencia del mayor contenido de proteína, especialmente de zeína presente en el endospermo córneo, y del incremento de la proporción de este tipo de endospermo.

▪ **Valor nutritivo del ensilaje.**

El efecto de una helada en el valor nutritivo del ensilaje de maíz dependerá de la magnitud de las heladas y la madurez del cultivo (González, 1995).

La digestibilidad de la planta es mayor a la mitad del estado lechoso del grano, pero muestra pocos cambios desde que los granos se encuentran en la etapa lechosa inicial hasta el estado harinoso del grano. Esto se debe a que las hojas y tallos de maíz acumulan altos contenidos de carbohidratos no estructurales (energía) al final de la

temporada y estos son finalmente transferidos a la espiga. Cuando toda la planta es destinada al ensilado, no hay mucha diferencia si los carbohidratos se encuentran en la espiga o en las hojas (González 1995).

La proteína cruda disminuye continuamente a medida que la planta madura, y suele ser mayor en los cultivos inmaduros helados que en maíz cosechado en la madurez correcta (Moreiras et al., 1996).

Las bajas temperaturas pueden reducir la palatabilidad del ensilaje de maíz ligeramente. Esto normalmente no es motivo de gran preocupación (González, 1995).

2.3 Temperatura y desarrollo de la planta.

La temperatura es el factor más importante que influye en el desarrollo de la planta del maíz a través de sus fases, desde la emergencia hasta la floración y la madurez (Rawson et al., 1998).

Las plantas no son capaces de mantener su temperatura constante, por lo que los cambios de temperatura ambiental influyen sobre su crecimiento y desarrollo.

Las variaciones de la temperatura ambiental son periódicas, diarias (día/noche) y estacionales. También se dan variaciones fluctuantes más o menos previsibles como la variación de temperatura por nubosidad, por la velocidad del viento, o por la posición de la hoja en la planta (Rawson et al., 1998).

Además, la temperatura de la raíz no tiene que ser igual a la temperatura de la parte aérea, ya que las variaciones de temperatura llegan a la raíz con retardo respecto a las de la parte aérea (Vorst, 1990).

Las noches cálidas no son beneficiosas para el maíz, pues es la respiración muy activa y la planta utiliza importantes reservas de energía a costa de la fotosíntesis realizada durante el día (Ritchie et al., 1993).

La gravedad de los daños por heladas dependerá en gran medida de la duración y el alcance de las bajas temperaturas. Los daños por heladas importantes en hoja, tallo y

tejidos del tronco se pueden producir si las temperaturas caen por debajo de 0 °C durante 4-5 horas; o cuando baja la temperatura de -2 °C o menos, incluso cuando la temperatura es varios grados superior de cero si el aire es frío y tiende a acumularse. Una cosecha de maíz densa puede atrapar el calor dentro de su vegetación durante el día. Las filas exteriores y las áreas bajas en densidad de plantación son más propensas a heladas (Ritchie et al., 1993).

Según las partes de la planta de maíz, varía la susceptibilidad a las heladas. Las hojas son más susceptibles debido a que su delgadez hace que sea difícil para ellas mantener el calor. Los tejidos más gruesos de plantas tales como tallos y el grano tienen una mayor capacidad de retención de calor (Vorst, 1990).

Los diferentes procesos fisiológicos tienen diferentes temperaturas óptimas y el desarrollo puede ocurrir dentro de un cierto rango de temperaturas.

Conceptualmente, la temperatura base es la temperatura a la cual el desarrollo se detiene debido al frío. A medida que la temperatura aumenta por encima de la temperatura base, el desarrollo se acelera hasta que se alcanza la temperatura óptima. La temperatura óptima es aquella a la cual el desarrollo ocurre lo más rápidamente posible. La temperatura cardinal es la temperatura por encima o por debajo de la un proceso fisiológico es para, volviendo a funcionar cuando la temperatura está por encima de la mínima cardinal ó por debajo de la máxima cardinal. La temperatura crítica son las temperaturas por debajo ó por encima de las cuales un proceso fisiológico sufre daños irreversibles y la planta muere. Estas dos temperaturas críticas (mínima y máxima) no son constantes durante la vida de la planta, sino que pueden variar durante el desarrollo (Afuakwa et al., 1984).

Cada fase del desarrollo requiere un mínimo de acumulación de temperaturas para llegar a su término y que la planta puede pasar a la fase siguiente.

Para la siembra del maíz es necesaria una temperatura media del suelo de 10 °C, y que ella vaya en aumento. Para que la floración se desarrolle normalmente conviene que la temperatura sea de 18 °C como mínimo (Hoseney, 1991). Por otra parte, el hecho de que deba madurar antes de los fríos otoñales, hace que tenga que recibir bastante calor. De

todo esto se deduce que las temperaturas durante toda su vegetación deben de ser relativamente elevadas.

La temperatura más favorable para la nascencia se encuentra próxima a los 15°C. En la fase de crecimiento la temperatura ideal se encuentra comprendida entre los 24 °C y 30 °C. Por encima de los 30 °C se encuentran problemas en la actividad celular, disminuyendo la capacidad de absorción de agua por las raíces (Hoseney, 1991).

Si las temperaturas son excesivas durante la emisión de polen y alargamiento de los estilos, pueden producirse problemas (Hoseney, 1991).

En algunas fases del desarrollo, existen otros factores que pueden modificar algunos efectos de la temperatura. Los elementos modificadores menores incluyen la sequía, la nutrición y la radiación solar. Los elementos modificadores menores incluyen la sequía, la nutrición y la radiación solar. Uno de los mayores modificadores es el fotoperiodo (el total de horas entre la primera y la última luz de cada día). La incidencia de estos modificadores difiere según la fase y la variedad de maíz (Rawson et al., 1998). Los días más cortos demoran el desarrollo. Es necesario considerar esto cuando se estime la duración de las fases de desarrollo.

2.4. Fundamento físico y características de las heladas.

Ya se ha comentado con anterioridad la importancia que tienen las heladas en la merma de muchas de las producciones agrícolas. Las bajas temperaturas disminuyen las actividades enzimáticas, respiratorias y otras que afectan al metabolismo.

▪ Concepto de helada y congelación.

Si bien se utilizan simultáneamente los términos de congelamiento y helada, no son completamente intercambiables. Se denomina *Congelamiento* cuando ocurren temperaturas de 0 °C o menores, a una distancia de 1,5 m sobre el suelo. La Helada ocurre cuando la temperatura de la tierra o de los objetos de la tierra o de los objetos de la tierra en la superficie alcanza los 0 °C o aún menos. (Griffiths y Driscoll, 1982). Considerando estas definiciones es posible que se produzca una helada aunque no un congelamiento.

Kunkel y Hollinger (1995) explican este fenómeno como a continuación se describe: “Bajo ciertas condiciones atmosféricas, la temperatura mínima oficial puede ser varios grados superior que la temperatura mínima de la superficie de la tierra. Con vientos moderados a altos, la atmósfera cerca de la superficie está bien mezclada y la temperatura del aire es casi igual que la de la superficie. Sin embargo con vientos ligeros y cielos claros, el aire cercano a la superficie de la tierra se enfría debido a la radiación infrarroja y a la temperatura de la vegetación que está cerca de la superficie. Y puede estar varios grados más frío que la temperatura oficial a 1,5 metros”.

Todo proceso de congelación esta directamente relacionado con el agua. El agua es el termorregulador biológico más importante. Este elemento se encuentra presente en todos los organismos vivos y participa en una serie de reacciones metabólicas y procesos del vegetal. Es así que las bajas temperaturas tienen una influencia sobre los tejidos u órganos, los cuales al estar constituidos por células, y estas por un gran porcentaje de agua, se ven afectados directamente (Guadalupe et al., 2001).

- **Clasificación de las heladas.**

Las heladas se pueden agrupar desde los puntos de vista de origen climatológico, época de ocurrencia o aspecto visual (Guadalupe et al., 2001).

- **Clasificación de las heladas a partir de su origen climatológico.**

- *Heladas por advección.

Esta clase de heladas se forma cuando llegan grandes masas de aire frío de origen continental a una región ubicada en las partes bajas de las montañas, en las cañadas o en valles. Se presentan indistintamente en el día o noche. Ellas van acompañadas de vientos moderados a fuertes y durante ellas no existe inversión térmica. Los cultivos se enfrían por contacto y los daños que sufren dependen de su naturaleza y etapa en que se encuentre su desarrollo. Los daños en los cultivos se deben al continuo movimiento de aire frío sobre ellos, por lo que es muy difícil protegerlos contra esta clase de helada.

- *Heladas por radiación.

Estas heladas se presentan por la pérdida de calor del suelo durante la noche. Durante el día el suelo se calienta, pero al anochecer pierde calor por radiación, con mayor cantidad en las noches largas de invierno; por ello, las heladas más severas ocurren en

esta estación del año. Los lugares más propensos a la formación de heladas por radiación son tanto los valles como las cuencas y hondonadas próximas a las montañas. Ello se deba a la acumulación del aire frío que desciende durante la noche. Se originan cuando el aire cercano a la superficie del suelo tiene una humedad relativa baja y disminuye aún más por la llegada de un viento con aire seco. Este último causa la evaporación del agua que se encuentra sobre las plantas, lo que provoca su enfriamiento.

- Clasificación de las heladas por la época en que ocurren.

***Heladas primaverales.**

Este tipo de helada principalmente a los cultivos de ciclo anual, como el maíz, cuando se encuentran en la etapa de brotación de ramas o con pocos días de nacimiento. Se presentan cuando en el ambiente se genera un descenso de temperatura.

***Heladas otoñales.**

También llamadas heladas tempranas, son perjudiciales para el maíz porque pueden interrumpir bruscamente el proceso de la maduración del grano. Se forman por la llegada de las primeras masas de aire frío sobre el país durante los meses de septiembre y octubre.

***Heladas invernales.**

Se forman durante el invierno si la temperatura ambiente disminuye notablemente. No afectan al cultivo del maíz en este caso.

- Clasificación de las heladas por el aspecto visual.

Atendiendo a la apariencia de los cultivos expuestos a las bajas temperaturas del aire se tienen dos tipos de heladas: la blanca y la negra. El contenido de humedad en las masas de aire determina estos tipos de heladas. La helada blanca se origina cuando estas masas de aire son húmedas; en cambio, cuando tienen poco contenido de vapor de agua, se forma la helada negra.

***Heladas blanca.**

Para que se presente esta helada es indispensable que el aire cercano al follaje y las flores tengan temperaturas iguales o menores que 0°C, de esta manera, el aire alcanza la temperatura del punto de rocío, ya que con ello existe condensación y de inmediato el vapor de agua del aire pasa al estado sólido para formar hielo. Este último forma capas de color blanco sobre la superficie de las plantas y en objeto expuestos; se observan principalmente en las mañanas despejadas y sin viento.

***Heladas negra.**

Se desarrolla cuando el aire tiene poco vapor de agua (humedad baja) y la temperatura del punto de rocío es inferior a 0°C; de modo que existe escasa condensación y nula formación de hielo sobre la planta. Sin embargo, el cultivo es dañado y al día siguiente las plantas presentan una coloración negruzca, por la congelación de la savia de las plantas o del agua de sus tejidos. Durante este tipo de helada sucede que al congelarse el agua, se origina un incremento de su volumen, que deriva en el rompimiento y quemaduras en el follaje. Estas heladas causan daños más severos que las blancas.

▪ **Elementos meteorológicos que afectan la formación de heladas.**

Según Romo et al. (1989), los principales elementos del tiempo que influyen en la formación de las heladas son el viento, la nubosidad, la humedad atmosférica y la radiación solar.

- **Viento.**

El viento es fundamental para que se desarrolle una helada, pues cuando hay corrientes de aire se mezcla el aire frío, que se encuentra cercano al suelo, con el más caliente que está en niveles superiores, lo que hace más difícil el desarrollo de una helada. Por tanto, una de las condiciones que favorece la ocurrencia de heladas es la ausencia de viento.

La temperatura del aire disminuye conforme aumenta su distancia a la superficie del suelo. Sin embargo, existe una inversión térmica cuando la temperatura es mayor conforme aumenta la elevación. Diversas condiciones meteorológicas producen las inversiones térmicas; cuando se presenta una inversión térmica, las capas de aire son

arrastradas por otras descendentes y más frías. Este fenómeno se manifiesta en los valles, principalmente en invierno y está asociado con los cielos despejados y temperaturas bajas cercanas a la superficie de la Tierra.

- **Nubosidad.**

Las nubes son extensos conjuntos de pequeñas gotas de agua y cristales de hielo suspendidos en el aire. Se forman cuando el vapor de agua presente en el aire llega a los niveles altos de la atmósfera y se condensa porque la temperatura es más baja.

Cuando el cielo está cubierto por nubes, éstas disminuyen la pérdida de calor del suelo por radiación hacia la atmósfera y devuelven parte de ese calor a la Tierra. Para que ello ocurra, la temperatura del aire en movimiento debe ser mayor a la del punto de rocío (la temperatura a la cual el aire no admite más humedad). Cuando sigue descendiendo la temperatura puede llegar a los 0°C y el vapor de agua que contiene produce una capa delgada de hielo en la superficie de la Tierra, que se conoce como escarcha blanca.

Si en la noche, el cielo despejado, la pérdida de calor desde la superficie de la Tierra es continua. Así disminuye el calor de la tierra y con ello se favorece la ocurrencia de las heladas.

- **Humedad atmosférica.**

Cuando disminuye la temperatura a los 0°C o menos, y el viento es escaso, el vapor de agua contenido en el aire, se condensa; si la humedad es abundante, ésta produce niebla y cuando tiene poco contenido de humedad, se forma la helada. Por ello una gran humedad atmosférica reduce la probabilidad de ocurrencia de heladas.

- **Radiación Solar.**

Una cantidad de radiación solar es absorbida por la superficie de la Tierra y otra es devuelta desde su superficie a la atmósfera (radiación reflejada).

Durante el día, el suelo retiene el calor y durante la noche lo pierde; estos procesos dependen de la nubosidad y del viento que existan sobre ciertas regiones del planeta.

Cuando los días son más cortos y las noches más largas, aumenta la ocurrencia de heladas; aunque exista una menor acumulación de calor en el suelo, habrá un mayor tiempo para que se transmita.

▪ **Parámetros que caracterizan una helada.**

Para caracterizar las heladas según Burgos (1963) se utilizan los parámetros que se detallan a continuación:

- Frecuencia: está dada por el número de veces que ha ocurrido el fenómeno, en un período determinado (anual y mensual).
- Fechas medias de primera y última helada: describe la distribución de las fechas medias a lo largo del período considerado.
- Fechas extremas de primera y última helada: la peligrosidad de las heladas para el productor agrícola es mayor cuanto más se adelantan o se retrasan del período invernal, según se trate respectivamente de heladas otoñales o primaverales. Por esta razón es de suma importancia determinar las fechas extremas, es decir la fecha más anticipada y la más tardía dentro de la serie estudiada.
- Período medio con y sin heladas: el período medio con heladas es el lapso comprendido entre la fecha media de primera helada y fecha media de última helada y corresponde a la época del año donde se espera que ocurran las bajas temperaturas. Calculado el período medio con heladas, se calcula el período medio sin heladas como la diferencia entre el número de días del año y el período medio con heladas. Es decir, que se considera período libre de heladas a aquel que comienza el día posterior a la última helada del año y finaliza el día anterior a la primera helada del año siguiente.
- Períodos extremos con y sin heladas: es el resultado de la diferencia entre la fecha extrema de última helada y la fecha extrema de primera helada de la serie.
- Intensidad de las heladas: está dada por el valor en °C que alcanza el fenómeno anualmente y mensualmente. Las heladas mensuales se clasificaron por intervalos de clases térmicas: muy severas ($a > -10^{\circ}\text{C}$), severas (-8.0 a -9.9°C), muy fuertes (-6.0 a -7.9°C), fuerte (-4.0 a -5.9°C), moderadas (-2.0 a -3.9°C) y suevas (0.0 a -1.9°C). (Da Motta, 1961).
- Variabilidad de primera y última helada: la ocurrencia de primera o última helada no coincide año a año y tampoco sucede en la fecha calculada, por eso se calcula la variabilidad. Esta no da una fecha exacta, sino un rango

estimado en el cual puede producirse helada. Se calcula a través del desvío estándar.

- Probabilidad de ocurrencia: la determinación del desvío estándar permite estimar la probabilidad estadística de que la primera o última helada ocurra x días antes o después de la fecha media.
- Época de ocurrencia: la temporada normal en que ocurren las heladas es el invierno. Mientras más se alejen de esta estación, mas peligrosas resultan para los cultivos. Las heladas otoñales son llamadas tempranas o primeras heladas. Mientras más anticipadamente se presenten, mayores serán los daños que provocan a los cultivos. Las heladas primaverales son llamadas también tardías o últimas heladas y mientras más se retrasen, mayores serán las pérdidas en las especies bajo cultivo.
- Índice de peligrosidad de las heladas (I.C.K.): conociendo las fechas media de primera y última helada, el período libre de heladas o los diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia, se puede tener una idea del peligro que revisten las heladas, pero no es una información totalmente relevante. Para tener una idea más acabada del peligro que causan, se han tratado de formular índices que expresen con mayor o menor claridad este peligro. Se define el Índice de Peligrosidad como el valor que expresa la relación entre el régimen de heladas y sus efectos sobre los cultivos, por lo tanto permite medir la peligrosidad de las heladas tempranas y tardías.

2.5. Evaluación de daños y métodos de actuación.

En evaluación de los daños, es importante ser capaz de medir el alcance y el tipo de daño, el potencial para la recuperación de los cultivos dañados, y qué acciones podrían ser necesarias para maximizar ese proceso de recuperación (Leipner, 2009)-

Al igual que muchos otros cultivos, el maíz no necesita toda la superficie de hojas y follaje que produce. Puede darse el caso de campos de maíz que aparentemente tienen mal aspecto, pero que todavía son capaces de producir una producción cercana a la normal en lo que a cultivos de maíz se refiere (Bechoux et al., 2000).

Las bajas temperaturas del otoño pueden matar los tejidos de maíz antes que la planta alcanza la madurez. Cuando una helada ocurre a principios de otoño, los productores de maíz necesitan conocer el impacto de los daños sobre la madurez y rendimiento de híbridos.

Según Ritchie et al. (1993), la inspección visual de maíz dañada por las heladas debe hacerse por la mañana después de la helada, después de la salida del sol y cuando la cosecha ha comenzado a descongelarse. En este momento, es cuando el tejido dañado se empieza a marchitar y el contenido de las células es expulsado como una capa de azúcar en las hojas y el tallo.

En cuanto a evaluar la cosecha, hay que tener en cuenta el número de hojas que se han helado, el daño ocasionado en el tallo y la proporción de la plantación que se ha visto afectada. Es importante evaluar el estado de madurez de la cosecha en términos de lo lejos que la cosecha estaba del momento de la recolección en el momento de la helada. Se mencionó con anterioridad que las filas exteriores y cualquier hueco en el cultivo es más probable que sea afectado por las heladas que el resto de la cosecha. Según Ritchie et al. (1993), para hacer una evaluación precisa de los daños habría que caminar bien a través del cultivo.

2.6. Efectos de las heladas en el maíz.

Cuando se presentan bajas temperaturas en una región donde hay posibilidad de una helada y congelamiento, existen varios factores que dictan la extensión y la severidad del daño por la helada. En el cultivo de maíz uno de los factores más importantes es el estado de desarrollo de la planta (Farooq et al., 2009). De hecho, la etapa de crecimiento en la que se encuentra la planta de maíz es un parámetro de especial importancia a la hora de recibir un determinado daño fisiológico (Bremer et al., 1995).

Las plantas jóvenes son menos susceptibles a los daños ya que el punto de crecimiento se encuentra más cerca del suelo y están protegidas de las temperaturas de congelamiento. En plantas con un desarrollo más avanzado, las hojas están más expuestas y tienen el ápice por encima de la superficie del suelo (aproximadamente 30 cm. De altura) Cuando las hojas más largas de estas plantas se congelan, éstas pueden

formar un espiral firme y torcida que a las hojas nuevas le será difícil penetrar (Farooq et al., 2009).

Los daños por helada en maíz pequeño pueden ser casi insignificantes cuando el maíz es menor de 15 cm de altura. A menos que sufra una severa congelación, las posibilidades de recuperación son muy buenas (Bremer et al., 1995). El nuevo crecimiento de la planta será con un verde más claro que el observado en plantas que no hubieran sufrido estrés alguno. Les esperará una reducción en torno al 9-15 % de rendimiento aproximadamente. Lo que a veces si se produce es que plantas dañadas son objetivo de futuras enfermedades, insectos y problemas en la cosecha (Thakur et al., 2009).

Según Bremer et al. (1995), el maíz que es mayor de 12 pulgadas de altura cuando es sometido a temperaturas de congelación duraderas por lo general no sobrevive. Si el punto de crecimiento está por encima del nivel del suelo (ya no aislado por la tierra), el tejido meristemático es gravemente dañado.

Ya durante la fase de maduración, según Bremer et al. (1995), una helada puede desencadenar una caída en el rendimiento del maíz sembrado bastante variable. Lo normal es que el grano resultante sea bajo en peso. Y es muy probable que aunque el grano tenga buenos valores alimenticios, su venta sea difícil.

Según la severidad de la helada también puede haber diferentes respuestas en el desarrollo de la planta. Bremer et al. (1995) divide diferentes efectos según distintos rangos de bajas temperaturas:

- Daños por temperaturas entre 0,5 y 7 °C: Un prolongado periodo a bajas temperaturas puede afectar negativamente a las plantas jóvenes de maíz. Este tipo de daño debe ser distinguido de la deficiencia de fósforo o de la deficiencia de zinc, que se ven también influidas por la temperatura del suelo, pero que son resultado de un sistema de raíces demasiado pequeño para tener acceso a suficientes nutrientes para alimentar la planta.

Los daños por estos rangos de bajas temperaturas se muestran como una disminución en el color de la planta y una ralentización de la fotosíntesis. Las hojas de maíz adquieren tonalidades que se parecen a gris-verde, púrpura

y rojo moteado con aumento de color amarillento. El sistema de raíces puede verse afectado si la planta todavía está en estadios iniciales.

Una helada dañina puede ocurrir cuando las temperaturas son ligeramente superiores a los 0°C y las condiciones son óptimas para la pérdida rápida del calor de las hojas a la atmósfera, es decir, los cielos despejados, baja humedad y sin viento.

A temperaturas entre 0 y 7 °C, el daño puede ser muy variable y fuertemente influenciado por las variaciones pequeñas en la pendiente o el terreno que afectan el drenaje del aire y la radiación térmica, y a la creación de pequeñas bolsas de hielo. Los bordes del campo, las zonas bajas, y las hojas superiores de la planta están en mayor riesgo.

- Daños por temperaturas entre -3 y 0 °C: la pérdida de tejido vegetal tras daños por este tipo de heladas es directamente proporcional a la bajada de temperatura, la duración de esta, y el contenido de humedad de la planta y el suelo en el momento del daño. La capacidad del suelo para mantener el calor y proteger inicialmente las plantas contra la caída de las temperaturas del aire sólo es eficaz para pequeñas fluctuaciones de temperatura.
- Daños por temperaturas inferiores a -3°C: En realidad todos los tejidos se marchitan y desecan en los días siguientes a la congelación. El maíz en estadios iniciales pueden tener problemas de crecimiento debido a estos problemas.

A continuación, se describen algunos de los efectos más comunes en maíz debido a las heladas (Cartes, 1995):

- Internos: ruptura de las membranas de la célula por el crecimiento de cristales de hielo dentro del protoplasma (deshidratación).
- Externos: muerte de hojas y tallos tiernos, destrucción de un gran porcentaje de flores e incluso la muerte total de la planta. Como ya se ha indicado, la resistencia del cultivo a la helada depende de la etapa de desarrollo; ya que, en la floración es el mayor el daño que sufre. Una vez producida la helada,

según su intensidad y duración, aparecen las hojas lacias y posteriormente se secan tomando color café y una apariencia de quemadas.

- Inmediatos: sus efectos son la deshidratación y la rotura de la membrana.
- Acumulativos: si bien son causados por temperaturas bajas, no necesariamente a 0 °C a lo largo de periodos prolongados. Comúnmente se manifiesta con la intoxicación de la planta por las sales minerales cuando el fenómeno se repite.

Cuando las temperaturas de congelamiento dañan las plantas de maíz, algunas de ellas van a sobrevivir y recuperarse mientras que otras morirán. La muerte es inmediata cuando los puntos de crecimiento se congelan. Las plantas de maíz que no murieron inmediatamente, empezarán a sufrir varios factores físicos y biológicos que dificultan la recuperación, los cuales incluyen (Thakur et al., 2009).

De modo general, y a modo de síntesis, los efectos por bajas temperaturas incluyen membranas dañadas (Xing y Rajashekar 2001), disminución de la respiración celular (Lee et al., 1997), el aumento de especies reactivas de oxígeno y una mayor expresión de los antioxidantes (Kratsch y Wise 2000; Farooq et al., 2008).

Los síntomas de estrés por frío incluyen la reducción en la tasa de crecimiento de las plantas y elongación de las hojas (Verheul et al., 1995; Sowinski et al., 2005), reducción en la captación de minerales y agua (Aroca et al., 2003), la conductancia estomática (Aroca et al., 2003), la fotosíntesis (Aroca et al., 2003), aumento de la producción de especies reactivas del oxígeno (ROS) (Foyer et al., 2002) y las actividades de antioxidantes (Aroca et al., 2003), y los cambios en las propiedades de la membrana (Xing y Rajashekar 2001; Farooq et al., 2008).

La pérdida de granos potenciales de una helada de otoño en diferentes etapas de desarrollo del grano se muestra en la Tabla 5 (adaptada de Afuakwa et al., 1984).

Como se ha ido comentando, la pérdida de rendimiento es directamente proporcional a la etapa de madurez y la cantidad de tejido de la hoja. Las pérdidas de rendimiento son insignificantes si las heladas se producen cuando la humedad del grano es inferior al 35%.

Tabla 5. *Perdidas potenciales en el rendimiento del grano de maíz tras heladas.*

Etapas desarrollo del grano	Porcentaje de pérdida de producción (hojas y tallo)	Helada ligera (sólo hojas).
R4 (lechoso inicial)	55	35
R5 (lechoso medio)	40	25
R5.5 (lechoso tardío)	12	5
R6 (harinoso-vítreo)	0	0

El tallo de una planta de maíz es un órgano de almacenamiento temporal para los fotoasimilados que con el tiempo se mueve a los granos (Afuakwa et al., 1984). El rendimiento de grano seguirá creciendo cerca del 7 a 20 % después de una helada ligera que sólo mata las hojas, siempre y cuando la planta no esté muerta (Tabla 5).

Cultivos de grano helado antes de la etapa R4, tendrán un potencial de rendimiento de grano bajo y los granos se secarán. Se recomienda que estos cultivos se destinen a ensilaje de maíz y se dejen madurar para ensilado hasta que se alcance el grado de humedad de cosecha.

Cuando una cosecha de cereales se hiele en la etapa R5, los rendimientos se reducirán en un 40-50 % aproximadamente (Tabla 5). Los cultivos que hayan sido severamente helados tienden a tener una mayor incidencia de rotura del tallo. El grano será más susceptible a la fractura, aumentando el riesgo de rechazo del grano o descuento por granos quebrados y cuerpos extraños. Para muchos cultivos que se sufran daños graves antes de llegar a la etapa R5, el ensilaje de maíz es la mejor opción.

Los cultivos de maíz de grano que se ven afectados por las heladas tras superar la etapa R5, reducen también el rendimiento (Tabla 5) y los pesos serán inferiores a lo normal. Si sólo una parte del tejido de la planta muere y si el grano estaba cerca de la última etapa de madurez, la pérdida de rendimiento será pequeña y los pesos estarán más cerca de lo normal.

Estudios de simulación de heladas en Minnesota, indican que cuando se está en la fase de R5.5 (aproximadamente el 55% de humedad de grano), el maíz afectado puede llegar

a madurar si las condiciones ambientales son favorables. Esto retrasará algo la cosecha y/o aumentará las tarifas de secado.

Las heladas severas no afectarán al rendimiento de grano o la calidad de la cosecha después de la madurez fisiológica.

2.7. Mecanismos de defensa ante las heladas.

La preocupación de los agricultores para proteger sus cultivos de las heladas se debe a las fuertes pérdidas económicas y naturales que pueden presentarse durante el ciclo agrícola.

Según Romo et al. (1989), existen varios métodos para reducir los efectos de las heladas en cultivos, los cuales se agrupan en indirectos (o pasivos) y directos (o activos).

Los **métodos indirectos** son aquellos que ayudan a prevenir el fenómeno de la helada sin necesidad de que esta ya esté presente. Disminuyen la afectación durante el periodo de helada, por la elección apropiada de las especies, variedades, épocas de cultivo y ubicación de las distintas plantas.

Según Romo et al. (1989), para la selección del terreno, generalmente las depresiones son más propensas al frío y al fenómeno de la helada, por lo que se recomienda, en la medida de lo posible, no sembrar en el fondo de los valles cerrados, laderas y cuencas, que constituyen cauces naturales del flujo o masas de aire frío. En tanto, los cerros, lomas y montañas son sitios de dispersión del aire frío, que determinan condiciones poco favorables a la formación de las heladas. Así, se deberán preferir las colinas o cualquier elevación sobre el nivel ordinario del terreno para su plantación. Es importante tomar en cuenta también la orientación del terreno ya que las laderas dirigidas hacia el sur presentan menor probabilidad de heladas. Para la protección es necesario seleccionar aquellos lugares que manifiesten una mayor radiación durante el día, que sean más húmedos y con temperaturas altas (mayor cantidad de radiación solar y mayor reserva que durará toda la noche).

El riesgo de daños por heladas se puede también reducir mediante métodos ecológicos. Se refieren al control de nutrientes, fertilizantes, rompevientos, entre otros. Al mismo tiempo que desfavorecen la formación de heladas, las técnicas ecológicas ayudan a la compactación y mejoramiento de suelos, así como a la rotación de cultivos. Mientras tanto, los suelos orgánicos o de turba presentan un problema cuando ocurren heladas nocturnas. Un suelo trabajado es más poroso que uno no trabajado y su conductividad térmica disminuye. Una vegetación uniforme juega un rol de aislante y se observa una disminución sensible de la temperatura del suelo. La paja, las malezas o el trabajo en el suelo frenan el aporte de calor en las capas profundas del suelo (Guadalupe et al., 2001).

Por su parte, los *métodos directos* se basan en acciones tomadas antes y durante el periodo de peligro de la helada. En algunos, se reduce la pérdida de calor del suelo protegiéndolo con cubiertas, o bien, produciendo nieblas o humos artificiales en la capa de aire adyacente a la superficie del suelo y reponen las pérdidas de calor agregando una cierta cantidad de él (Balcarce 2006).

La protección o cubierta de los cultivos puede hacerse con infinidad de materiales: plástico, fibra de vidrio, red, túneles, calentadores, aluminio pulverizado y aislador de espuma y hasta con barreras forestales (Guadalupe et al., 2001).

Para la generación de humo y neblinas artificiales (nubes de humo desde un bote de combustible, combustión química, humo de caldera), los agricultores usan ramas de árboles podados, estiércol, aserrín, paja, madera y pasto (Balcarce 2006).

Otro método directo es el calentamiento directo del aire y la planta (calentadores líquidos, calentadores sólidos, calentadores eléctricos). El calentamiento consiste en calentar el aire o medio ambiente de un cultivo momentos antes de que la temperatura sea crítica para las plantas. El objetivo del método es desprender más calor con menos humo (Balcarce 2006).

Mediante irrigación y goteo se puede lograr la inundación del terreno para liberar el calor latente. El uso del agua para contrarrestar las heladas es un método muy antiguo.

El mezclado del aire (generación de viento artificial por medio de máquinas, como helicópteros), retarda la pérdida de calor al cubrir las plantas con algún material no metálico como papel, plástico, paja o tela, que intercepte el calor irradiado por la tierra y por las plantas. El objetivo es no dejar escapar el calor de la planta por irradiación. En la noche la superficie del suelo se enfría primero, lo que a su vez hace disminuir la temperatura del aire en contacto con el. Así, durante la noche la temperatura aumenta con la altura. Se produce una lo que se llama una inversión térmica por ser lo inverso a lo que sucede en el día (Guadalupe et al., 2001).

Finalmente se puede aludir al mantenimiento de la temperatura sobre el punto de congelación por calentamiento artificial de las capas inferiores, por medio de hornillos o botes con petróleo o keroseno. Quemado de materia orgánica para producir humo cuyas partículas absorban el calor irradiado por la tierra. Los combustibles sólidos pueden ser quemados en aparatos diseñados para ello o estar expuestos directamente al suelo. Existen calentadores que utilizan carbón fósil, como la hulla o lignito, así como conglomerados sólidos de sustancias inflamables. Otro combustible en calefactores es el gas como metano, butano, etano o propano (Balcarce, 2006).

Al margen de todos estos mecanismos de defensa ante heladas, un fuerte y sano sistema de raíces, buena tierra, la humedad y el clima favorable, son factores muy importantes para una rápida recuperación (Bechoux et al., 1998). Según Ritchie et al. (1993), otro factor que determina el potencial de recuperación de las plantas, es la sanidad que tenían antes de que ocurriera la helada. Las plantas que tienen menor posibilidad de recuperación son aquellas que estuvieron en estrés por bajas temperaturas, daño por herbicida, exceso de humedad o por alguna enfermedad. Asimismo cuando las condiciones de crecimiento de las plantas después de la helada no son ideales, éstas van a tener una recuperación más lenta y con susceptibilidad a la muerte.

3. OBJETIVOS.

Los principales objetivos que se persiguen con la realización el presente trabajo son:

- Analizar los efectos sobre las plantas de 2 variedades / ciclos de maíz cuando se someten a distintos tratamientos de frío, mediante la realización de heladas artificiales.
- Analizar como afecta el momento de la realización de cada tratamiento de frío sobre la planta y las características del maíz medidas durante la recolección.
- Evaluar si existen diferencias de comportamiento entre las variedades a estudiar para cada uno de los tratamientos de helada que se realicen.
- Obtener curvas de reducción que permitan calcular valores de disminución de los diferentes parámetros estudiados, para temperaturas teóricas comprendidas entre 0°C y -3°C.

1. MATERIAL Y MÉTODOS.

4.1. Localización.

Los ensayos se llevaron a cabo en la finca de prácticas y experimentación agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra.

4.2. Características climáticas

Los datos climáticos registrados en Pamplona durante el periodo exclusivo en el que ha estado cultivado el maíz, para la Estación Meteorológica de Pamplona (UPNA), según la Agencia Estatal de Meteorología, aparecen en la Tabla 6:

Tabla 6. Datos Climáticos Estación Meteorológica ETSIA-UPNA ESTACIÓN DE PAMPLONA (ETSIA) UPNA

Estación Automática . Latitud: 4738834 Longitud: 612067 Altitud: 500 m

Datos desde el 01/06/2010 hasta el 12/11/2010 (*)

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre (*)
T^a mínima media	11,4	13,6	13,8	10,5	7,7	6,7
T^a mínima absoluta	7,0	9,5	7,7	3,8	3,9	3,8
T^a máxima media	22,5	27,0	26,9	23,6	18,6	13,7
T^a máxima absoluta	32,0	36,5	38,0	33,7	27,6	19,5
T^a media	17,0	21,0	20,1	17,0	13,1	10
Precipitación (mm)	54,5	35,5	5,2	16,2	55,5	34,9

El clima de Pamplona es un clima de transición entre mediterráneo y atlántico. Los cambios de estación, de invierno a primavera y de verano a otoño, no son progresivos, sino bruscos (Floristán, 2003). Los meses más secos han sido agosto y septiembre. El mayor número de días despejados corresponde a los meses de julio y agosto. Por otro lado, teniendo en cuenta la media de las temperaturas máximas, sólo los meses de Julio

y Agosto superan los 25 grados, mientras que si se analiza la media de las temperaturas mínimas se concluye que el período frío se inicia en la tercera semana de octubre.

4.3. Material Vegetal

Se utilizaron semillas de dos variedades de maíz; una de ciclo 400: PR35Y65, (PIONER) y otra de ciclo 600: PR33Y74 (PIONER), proporcionadas por el Instituto Técnico de Gestión Agrícola de Navarra (ITGA).

En la reunión internacional organizada por la FAO en Zurich, en febrero de 1952, se acordó clasificar los híbridos de maíz en diez grupos de precocidad creciente. Estos grupos son los que figuran en la Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de los híbridos de maíz según sus ciclos

Ciclo	Denominación	Días desde la nascencia a madurez fisiológica
100	Ultraprecoces	< 80
200	Muy precoces	80-90
300	Precoces	90-100
400	<i>Semiprecoces</i>	<i>100-105</i>
500	Semiprecoces	105-110
600	<i>Ciclo medio</i>	<i>120-125</i>
700	Semitardíos	125-130
800	Tardíos	130-140
900	Muy tardíos	140-150
1000	Ultratardíos	> 155

La época comprendida entre la aparición de los pistilos y la madurez es generalmente poco variable, estando comprendida entre cincuenta y cinco y setenta y cinco días, según condiciones climáticas y tipos de híbridos (Nielsen, 2009).

Hoy en día está en revisión el sistema que define los ciclos, y se están estudiando dos índices, uno denominado “índice base” o “índice de precocidad”, que vendría dado por

el número de unidades de temperatura por encima de los 6°C, necesarios para la siembra, y la fecha en la que han aparecido el 50% de los pistilos. El otro, llamado “índice de madurez”, viene dado por el número de unidades de temperatura por encima de los 6°C, necesarios desde la fecha de aparición de las sedas hasta que el grano alcanza una humedad del 33%, momento en el que se considera que se alcanza la madurez fisiológica (Guerrero, 1992) .

No se debe utilizar un híbrido demasiado largo que haga correr el riesgo de que incidan antes de tiempo las heladas otoñales. Por el contrario, no es conveniente elegir una variedad de ciclo excesivamente corto, pues los ciclos cortos suelen tener en general menos capacidad productiva (Aldrich *et al.*, 1986).

La diferente climatología en España obliga a usar muy diferentes tipos de maíz. Como regla general, en todas las regiones se obtienen mayores resultados con los maíces de ciclo más largo, siempre que el clima les permita ampliar el ciclo.

4.4. Siembra

La siembra se realizó el 2/05/2011 en macetas individuales de 24 litros de capacidad. La oportuna elección de la época de siembra es uno de los factores importantes para lograr unas buenas producciones. El maíz germina a partir de los 10 °C de temperatura media en el suelo (Brown, 1999). Así, se intentará elegir la fecha de siembra tratando de rebasar ese umbral para la temperatura del suelo.

El cultivo se llevó a cabo al aire libre. Se sembraron dos semillas por maceta y tras la germinación se eliminó una de las plántulas de cada maceta. La disposición de las macetas fue en 3 filas de 62, 62 y 60 macetas respectivamente. La distancia entre filas era de 50 cm aproximadamente y entre macetas de 7,5 cm (Figura 10). La preparación de la tierra tuvo por objeto la obtención de un sustrato mullido en profundidad, pero que no debía quedar hueco, por lo que una vez rellena la maceta, fue asentada pero sin apelmazar.



Figura 10. Esquema de plantación

El sustrato utilizado fue turba con 1 kg / m³ de Osmocote de liberación para 8 meses con equilibrio 15-7-15. Este tipo de fertilizante de liberación lenta es positivo al liberar los nutrientes de manera regulada, evitando la incorporación de fertilizantes líquidos que pueden acabar drenando por la parte inferior de las macetas. Cada gránulo de Osmocote está constituido por un fertilizante soluble en agua rodeado de una cubierta de resina semipermeable. Esta cubierta permite al agua entrar en el gránulo y disolver los nutrientes encapsulados en él (Bustos *et al.*, 2008). Al ser disueltos por el agua ya están en disposición de salir al exterior a través de una compleja red de microporos que posee la cubierta de resina. Cuando estos componentes son liberados al suelo en el entorno del sistema de raíces de la planta, son absorbidos por la misma. Es por tanto un fertilizante químico cuyo modo de actuación es como el de los abonos orgánicos: liberación lenta y controlada.

4.5. Labores

▪ Fertilización

Se observaron deficiencias de nutrientes y en especial de hierro y nitrógeno durante la fase inicial del cultivo. Se aportaron 2 tratamientos de *Fetrilon*, un corrector de carencias múltiples con microelementos quelatados y con magnesio y azufre.. El sistema de aplicación fue la incorporación directa sobre la turba, alrededor de la planta, en las fechas 11/06/2011; 15/07/2011. Además se hizo un aporte de NPK el 18/06/2011. El resto de fertilización fue la aportada por el propio sustrato.

La extracción media que se calcula de elementos nutritivos de NPK en el maíz, es, por tonelada, de 25 kg de N, 11 kg de P_2O_5 y 23 kg de K_2O (Guerrero, 1992). Así, se estima que el abono necesario por planta para todo el ciclo es de 3,5 g de N; 2,1 g de P y 2,8 g de K.

El abonado de NPK que se utilizó fue COMPO Abono complejo 12-8-16 + 3Mg con micronutrientes con inhibidor de nitrificación (DMPP). Novatec Classic es un abono complejo equilibrado con magnesio azufre y microelementos que incorpora la tecnología NET – Nitrogen Efficiency Technology. Esta tecnología se basa en la interrupción del paso de amonio a nitrato en el suelo, aumentando la eficiencia de la nutrición nitrogenada y con ella la productividad de los cultivos. Además se minimizan las pérdidas por lixiviación de nitrógeno. Es un abono de calidad que garantiza rendimiento por su tecnología y sus excelentes propiedades físicas, ausencia de polvo y la calidad de las materias primas empleadas para su elaboración.

El N influye en el rendimiento y también en la calidad, pues de él depende el contenido en proteínas del grano. Cuando la planta padece hambre de N, disminuye el vigor, las hojas son pequeñas, las puntas de las hojas toman color amarillo, que poco a poco se va extendiendo a lo largo de la nervadura central, dando lugar a una especie de dibujo en forma de V (Figura 11).

Al acentuarse la carencia de N, la hoja entera amarillea, y paulatinamente van poniéndose amarillas las hojas por encima de la primera (Ladlie, 1993), como se aprecia en la Figura 12.



Figura 11. Deficiencias en Nitrógeno (I)



Figura 12. Deficiencias en Nitrógeno (II)

Cuando los daños son causados por sequía, las hojas también se vuelven amarillas, pero entonces se produce el fenómeno en todas al mismo tiempo (Ladlie, 1993).

La absorción del N tiene lugar, especialmente, en las cinco semanas que transcurren desde diez días antes de la floración, hasta veinticinco o treinta días después de ella.

Durante estas cinco semanas, la planta extrae el 75% de sus necesidades totales (Faiguenbaum, 1990). Las mazorcas que provienen de plantas que han sufrido falta de nitrógeno, traen las puntas vacías de grano (Figura 13). De todas formas, a veces, el imperfecto llenado de las mazorcas no está originado por ninguna carencia, sino porque las espatas no cubren totalmente la mazorca, pudiendo la parte descubierta no llegar a granar por la acción de insectos o pájaros o por accidentes meteorológicos (Ladlie, 1993).



Figura 13. Imperfecto llenado de la mazorca

El ácido fosfórico favorece la fecundación y el buen desarrollo del grano. Favorece también el desarrollo de las raíces (Barimavandi, 2010). En una carencia de fósforo, los pistilos emergen muy lentamente, lo que origina fecundaciones que dan mazorcas irregulares y que suelen tener carreras de granos rudimentarios (Guerrero, 1992). La absorción del fosfórico por la planta es importante en las proximidades de la floración y continúa durante unos tres meses. Las cinco semanas de necesidades máximas de nitrógeno coinciden con las del fósforo (Barimavandi, 2010).

La carencia de potasa origina raíces muy débiles, y las plantas son muy sensibles al encamado, así como al ataque de hongos (Ladlie, 1993).

En las plantas jóvenes se nota a veces la carencia de potasa en que las plantas toman tonalidades amarillas o amarillo-grisáceas, apareciendo algunas veces rayas o manchas amarillentas. Las puntas y los bordes de las hojas se secan y aparecen chamuscadas o quemadas (Faiguenbaum, 1990).

La falta de potasa se nota en las mazorcas en que, como en el N, quedan vacías las puntas (Ladlie, 1993). El maíz necesita las dos terceras partes de la potasa durante el mes que transcurre desde quince días antes hasta quince días después de la floración (Ladlie, 1993).

Algunas veces pueden llegar a verse deficiencias en algunos oligoelementos como el magnesio o el boro. En caso de falta de magnesio, suelen aparecer rayas amarillentas a lo largo de las nerviaciones y, con frecuencia, colores púrpuras en la parte inferior de las hojas bajas. Las mazorcas de plantas carentes en Mg suelen ser en general, de menor tamaño que las de plantas sanas. Si se da una falta de boro, las mazorcas aparecerán arrugadas por el lado que queda frente al tallo, siendo el resto de la mazorca de aspecto normal (Faiguenbaum, 1990).

▪ **Riego**

Una falta de agua en el maíz provoca el cierre de los estomas, reduciendo la fotosíntesis, lo que afecta al rendimiento. No deben pues, producirse durante el ciclo del maíz, periodos de falta de agua (Weisz, 1986).

Es particularmente perjudicial para el rendimiento una falta de agua durante la floración. Se calcula que una deficiencia durante ella puede llegar a acarrear un 30 % de disminución de la cosecha (Weisz, 1986).

El riego se realizó por goteo, con dos goteros por maceta de 2 l/h. Se puso en funcionamiento 5 días previos a la siembra, a razón de 3 horas diarias. Fue cortado en la tercera semana de octubre.

▪ **Malas hierbas**

Sobre todo en siembras tempranas, cuando el desarrollo del maíz es lento en su principio, porque las temperaturas no son elevadas, la competitividad de las malas hierbas es mayor que en situaciones más cálidas en que aumenta la competitividad del maíz (Aldrich *et al.*, 1986).

Durante el transcurso de las 3 - 4 semanas de la emergencia de la planta, aparecieron en algunas macetas, hierbas de forma espontánea, que podrían competir con el cultivo en absorción de agua y nutrientes minerales. Por ello, se estimó conveniente su eliminación de manera manual. Cuando las plantas adquirieron un porte considerado, se ignoró el rebrote de algunas de estas malas hierbas.

▪ Plagas y Enfermedades

Las plagas y enfermedades han sido causa de problemas en los rendimientos agrícolas, las cosechas y la supervivencia misma de las plantaciones. En la actualidad se suele hablar de "plagas" y de "enfermedades"; entendidas las primeras como anomalías producidas por animales y las segundas como daños ocasionados por hongos, bacterias, virus etc.

En lo que atañe a las plagas, se siguió un control regular para detectar en caso de que la hubiera, alguna incidencia significativa. Sí que se divisó presencia de pulgón, sobre todo al final del ciclo de la plantación. El peligro del pulgón reside en que se alimenta de la savia provocando una disminución del rendimiento final del cultivo y al mismo tiempo es transmisor de virus al extraer la savia de las plantas. De todas maneras, se desechó la opción de llevar a cabo ningún tratamiento.

También se prestó especial atención en detectar otras plagas comunes en el maíz y bastante agresivas, como lo son los taladros del maíz (*Sesamia nonagrioides* y *Pyrausta nubilalis*); la araña roja del maíz (*Oligonychus pratensis*, *Tetranychus urticae* y *Tetranychus cinnabarinus*); Heliothis; y distintos tipos de gusanos (*Agriotes lineatus*; *Melolontha* sp; *Anoxia* sp; *Agrotis segetum*). No hubo constancia de ninguna de las anteriormente nombradas.

En cuanto a enfermedades, tampoco se detectaron graves daños. Sí que se constató la presencia de hongos (generalmente de color blanquecino) en algunas mazorcas, coincidiendo la mayoría con aquellas que habían sido previamente abiertas para seguir los controles semanales. Algunos de estos síntomas se aprecian en las Figuras 14, 15, 16 y 17. Podríamos estar hablando de *Cladosporium*; *Gibberella*; *Penicillium*; *Trichoderma* o *Fusarium*. No se recogió incidencia ni de Roya (*Puccinia sorghi* ni de Carbón del maíz. (*Ustilago maydis*).



Figura 14. Hongos en mazorca (I)



Figura 15. Hongos en mazorca (II)



Figura 16. Hongos en mazorca (III)



Figura 17. Hongos en mazorca (IV)

4.6. Recolección

Comprendió el arranque de las mazorcas de manera manual, eliminando las brácteas de dichas mazorcas, y la recogida de una sola mazorca por planta.

El maíz puede cosecharse desde que ha alcanzado su estado de madurez fisiológica, que se logra cuando el 50 – 75 % de las espatas se vuelven amarillas (Brown, 1999). Sin embargo, en este momento suelen tener demasiada humedad. En este caso, el grado medio de humedad con el que se hizo la recolección fue del 38 %. El aspecto general que presentaba el cultivo en el momento de la recolección se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Estado de la plantación en fecha de recolección.

En el mismo día de la recolección, se hizo el pesaje de cada una de las mazorcas recogidas. A continuación, se llevaron a una cámara de secado, en el que se mantuvieron dos semanas a 60 ° C.

4.7. Diseño experimental

El ensayo general constó de 4 líneas de macetas, ordenadas en función de los ramales de riego a goteo. Dos de ellas para la variedad de ciclo 400 y las otras dos para la variedad de ciclo 600. Para cada variedad, se trabajó con seis momentos de intervención. Los seis momentos de intervención en los que se aplicaron las heladas, a partir del inicio de la floración fueron seis, y pueden observarse en la Tabla 8.

Tabla 8. *Momento de aplicación de las heladas para las dos variables de maíz.*

Momento	Días desde la siembra var. 400	Días desde la siembra var. 600	Estado de desarrollo
M1	76	83	Floración
M2	83	90	Semillas de vesícula
M3	90	97	Semillas blancas marfileñas (madurez lechosa)
M4	97	104	Inicio de formación de depresión apical de semilla (final del estadio lechoso)
M5	104	111	Consistencia tierna, no fluida de semilla (madurez cerosa)
M6	111	118	Semilla madura, cesa acumulación de materia seca (madurez cerosa- harinosa)

De manera detallada, estas son las características que definen cada uno de los momentos de intervención (Ritchie *et al.* 1993):

- M1: Algunos pueden discutir si la floración femenina debe ser considerada como una etapa de la madurez del grano, no obstante, la emergencia de seda es técnicamente la identificación de la primera etapa del período reproductivo. Las sedas suelen ser receptivas a los granos de polen de germinación hasta 10 días después de la emergencia de seda (Nielsen, 2007). La receptividad de la seda disminuye rápidamente después de estos 10 días si la polinización no ha ocurrido en ese intervalo de tiempo. El estrés en esta etapa puede causar una pobre polinización y puede ocasionar una importante reducción de la producción debido al aborto de un número variable de granos. La Figura 19 muestra el momento de intervención 1.



Figura 19. Momento de intervención 1

- M2: Los granos son de color blanco (ampollas), se encuentran en desarrollo en la mazorca y contienen un líquido claro abundante. Las sedas son en su mayoría de color marrón (Figura 20). El almidón está comenzando a acumularse en el endospermo. La mazorca es del tamaño casi definitivo. La acumulación de materia seca comienza en esta etapa y seguirá haciéndolo rápidamente hasta la madurez fisiológica. El contenido de humedad del grano es del 85 % aproximadamente. Se produce la reubicación de sustancias nutritivas de la planta. El estrés en esta fase puede reducir el número de granos y su tamaño (Brown, 1999).



Figura 20. *Momento de intervención 2*

▪ M3: Los granos comienzan en su mayoría a ser de color amarillo y el interior es fluido, blanco y lechoso. El almidón continúa acumulándose en el endospermo. La división celular del endospermo ya es casi completa y el continuo crecimiento se debe principalmente a la expansión celular y la acumulación de almidón. El estrés grave aún puede abortar granos, aunque no con la misma facilidad que en la etapa de la anterior. El estrés tendría un impacto sobre el número granos y el peso. El contenido de humedad del núcleo es de aproximadamente 80 %. (Brown, 1999). La Figura 21 corresponde al momento de intervención número 3.



Figura 21. *Momento de intervención 3*

• M4: El interior de los granos está cambiando de líquido lechoso a una textura pastosa, en consonancia con la progresiva acumulación de almidón en el endospermo

(Figura 22). Los granos tienen una humedad del 70 % y han logrado aproximadamente el 50 % de su peso final. La muerte prematura de la planta podría suponer reducciones en las producciones de hasta el 50 %. El estrés severo puede continuar influyendo en el rendimiento mediante la reducción del peso del grano (Brown, 1999).



Figura 22. Momento de intervención 4

- M5: Los granos son abollados, con el 80 % de peso final. Las mazorcas han desarrollado su color (Figura 23). El contenido de humedad comienza a bajar del 55%. El estrés en esta etapa reducirá producciones principalmente disminuyendo el peso del grano, no así el número. La pérdida de rendimiento estimada debido a la muerte de la planta en esta etapa sería entorno al 12 % (Carter *et al.*, 1990).



Figura 23. Momento de intervención 5

- M6: El grano está hecho y por lo general llega a su máximo peso seco (Figura 24). El estrés severo después de la madurez fisiológica tiene poco efecto sobre el rendimiento de grano, a menos que la integridad del tallo se vea comprometida. El contenido de humedad es del 30 % aproximadamente, pero puede variar entre el 25 y 40 %. Cuando se efectuó la recolección todos los lotes presentaron una humedad inferior al 40%.



Figura 24. Momento de intervención 6

Finalmente para cada momento de intervención hubo dos niveles de heladas, una suave a 0 °C y otra más severa a -3 °C.

El tratamiento principal de cada ensayo fueron los momentos de intervención y el secundario los niveles de helada aplicados. Para cada combinación de tratamientos se utilizaron 6 plantas de cada variedad de maíz. Así mismo se emplearon 20 plantas de cada variedad como testigos. Por lo tanto, el número de plantas utilizado fue de un total de 184 (Figura 25).

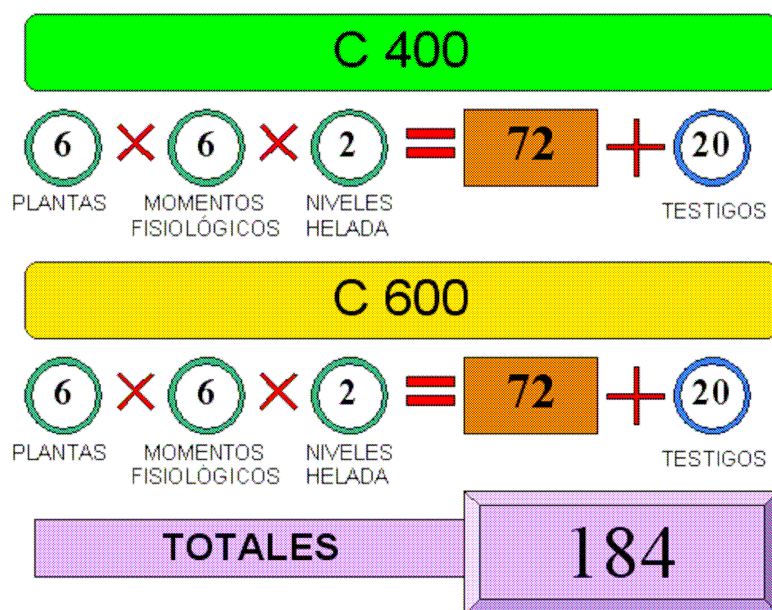


Figura 25. Número de plantas utilizadas en los ensayos.

El esquema de distribución de cada planta en la parcela de trabajo se detalla en la Figura 26.

CABEZAL DE RIEGO					
20	TESTIGOS 400	6	400 M4 -3 °C	6	600 M4 0 °C
		6	400 M3 0 °C	6	600 M4 -3 °C
		6	400 M3 -3 °C	6	600 M3 0 °C
20	TESTIGOS 600	6	400 M2 0 °C	6	600 M3 -3 °C
		6	400 M2 -3 °C	6	600 M2 0 °C
		6	400 M1 0 °C	6	600 M2 -3 °C
6	400 M6 0 °C	6	400 M1 -3 °C	6	600 M1 0 °C
6	400 M6 -3 °C	6	600 M6 0 °C	6	600 M1 -3 °C
6	400 M5 0 °C	6	600 M6 -3 °C		
6	400 M5 -3 °C	6	600 M5 0 °C		
6	400 M4 0 °C	6	600 M5 -3 °C		

Figura 26. Esquema de distribución en campo.

4.8. Método de aplicación de las heladas

Los tratamientos de frío se realizaron en una cámara frigorífica situada en la finca de prácticas y experimentación agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra.



Figura 27. Cámara frigorífica

En cada uno de los estadios descritos en el apartado anterior, se introdujeron 6 plantas de cada variedad-ciclo en la cámara frigorífica. Manipulando el termostato, se produjeron como ya se ha dicho, dos tipos de heladas, una de 0 °C y otra de -3 °C. El proceso de enfriamiento-helada duró unas 24 horas. Las plantas estuvieron a temperatura mínima programadas durante 5 horas. Se necesitaba aproximadamente 1 hora de descenso para alcanzar la temperatura correspondiente (-3° o 0°); 4 horas de helada y 19 horas de ascenso tras apagar la cámara frigorífica. Apagada la cámara, se mantuvo a las plantas dentro hasta el día siguiente, para que la subida de temperatura fuera gradual. Después de estos procesos se volvían a sacar las plantas al aire libre.

El calendario de heladas seguido se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9. Calendario de heladas

		Helada fuerte (-3°C)	Helada débil (0°C)
VARIEDAD 400	M1	16/8/2011	17/8/2011
	M2	23/8/2011	24/08/2011
	M3	30/8/2011	31/08/2011
	M4	7/9/2011	8/9/2011

	M5	12/9/2011	13/9/2011
	M6	19/9/2011	20/9/2011
VARIEDAD 600	M1	23/8/2011	24/8/2011
	M2	30/8/2011	31/8/2011
	M3	7/9/2011	8/9/2011
	M4	12/9/2011	13/9/2011
	M5	19/9/2011	20/09/2011
	M6	26/9/2011	27/9/2011

Para tener un conocimiento más exacto de las temperaturas existentes en el interior de la cámara, se colocaron tres sondas de temperatura dentro de la cámara para registrar la evolución térmica acontecida. Las tres sondas se dispusieron de la siguiente manera: una de ellas se colocó en el interior de la turba de una de las macetas; otra se situó entre la masa vegetal de las plantas, a un metro aproximadamente del suelo; y la tercera y última sonda se colocó a unos dos metros de altura, midiendo la temperatura ambiente de la cámara y apartada de las plantas. Los datos fueron almacenados y posteriormente fueron volcados a una memoria.

4.9. Mediciones realizadas durante el cultivo

Durante el cultivo, y desde la primera semana tras la siembra, se hizo un control regular de la plantas de maíz. Desde la siembra hasta la entrada en flor, se realizaron controles semanales para verificar el correcto crecimiento de las plantas. Como resultado de este seguimiento, y como ya se ha dicho anteriormente, se consideró oportuno el aportar dos tratamientos de *Fetrilon* y uno de NPK, al observarse deficiencias de nutrientes y en especial de hierro y nitrógeno durante la fase inicial del cultivo.

De igual forma, y en base a estos controles semanales, se prestó especial atención a la aparición de posibles plagas y enfermedades, así como de malas hierbas. Durante el primer mes tras la emergencia de la planta, aparecieron en algunas macetas, hierbas de forma espontánea, con lo que se procedió a su eliminación de manera manual. No se detectó ninguna plaga virulenta, a excepción de pulgón. En cuanto a enfermedades, únicamente es reseñable la presencia de hongos en algunas mazorcas, coincidiendo la

mayoría con aquellas que habían sido previamente abiertas para seguir los controles semanales.

Se intentó que todas las plantas de cada lote que fueron heladas se encontraran en el mismo momento fenológico, al producirse la floración en tiempos desiguales. Por ello se prestó especial atención al estadio de cada planta para dividir las macetas en dichos lotes. Con un cúter, se abrió una mazorca de las plantas a helar y otra de las plantas testigo.

A los dos días de helada, se atendió al aspecto general que presentaban las plantas y su sintomatología de daños.

Al mes de haber realizado la helada, se efectuó un control visual en mazorcas de las plantas heladas comparándolas con las mazorcas de las plantas testigo.

4.10. Mediciones realizadas en la recolección

En primer lugar se llevó a cabo una comparación de las mazorcas de las plantas testigo y las plantas que sufrieron heladas de 0°C y -3°C para cada uno de los momentos de intervención y cada una de las dos variedades / ciclos de maíz. De la misma manera, además de comparar las mazorcas, se compararon los granos de maíz una vez separados.

Los parámetros analizados para cada una de las dos variedades, combinaciones de tratamiento y momentos de aplicación, fueron:

- Peso fresco de la mazorca
- Peso seco de la mazorca
- Número de líneas por mazorca
- Peso del grano
- Número de granos por mazorca
- Peso específico
- Longitud de la mazorca
- Diámetro de la mazorca
- Peso de mil granos

Finalmente, se realizó una comparativa entre la respuesta de las variedades para cada uno de los parámetros estudiados. Para ello se calculó, para cada variedad, los porcentajes de reducción de cada uno de los parámetros en relación a los testigos.

4.11. Determinaciones analíticas

La técnica empleada para el estudio estadístico de los resultados ha sido un análisis de la varianza o ANOVA de una vía. Mediante dicho experimento se busca el efecto que sobre una variable cuantitativa de interés, llamada variable respuesta, tiene un conjunto de otra u otras variables cualitativas llamadas factores. El objetivo es contrastar si los factores influyen sobre la variable respuesta. A cada una de las categorías del factor se le llama nivel o tratamiento. En el trabajo que se ha llevado a cabo, la variable respuesta es cada uno de los parámetros medidos en la recolección. Y el factor es el momento de intervención (con seis niveles: M1, M2, M3, M4, M5 y M6) y la variedad / ciclo de la planta (tres niveles: 400, 600 y Testigo).

Pero en general, cuando se estudia mediante el ANOVA el comportamiento de los niveles de un factor fijo, no se persigue como única finalidad del análisis saber si globalmente los niveles del factor son significativamente distintos entre sí, sino que interesa además poder detectar qué niveles producen un efecto superior al de otros. Para ello se utilizan contrastes múltiples de medias. El utilizado en el presente trabajo es el Test de Student-Newman-Keuls (SNK).

Para la obtención de las curvas de reducción, a partir de los datos obtenidos en los controles finales para cada uno de los tratamientos, se calculó el porcentaje de reducción de los diferentes parámetros analizados, referenciando los valores de las dos heladas respecto a los valores obtenidos en las plantas testigo mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ reducción} = \frac{(\text{parámetro de testigo} - \text{parámetro de planta helada})}{\text{Parámetro de testigo}} \times 100$$

Se obtuvieron ecuaciones de regresión lineal calculadas a partir de los “porcentajes de reducción” y la temperatura mínima. En el caso de los testigos se utilizó como

temperatura mínima la temperatura mínima registrada durante el ciclo de cultivo (3,8 °C). En el caso de las heladas se utilizaron los valores de 0 °C y -3 °C. Estas ecuaciones se calcularon para cada variedad, momento de aplicación de la helada y parámetro estudiado.

A partir de las ecuaciones de regresión obtenidas se calcularon valores de reducción de los diferentes parámetros para temperaturas teóricas comprendidas entre 0°C y -3°C, sustituyendo estos valores por la incógnita x de las ecuaciones.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Controles a lo largo del ciclo

Los controles a lo largo del ciclo se realizaron de manera visual a los dos días de helada, atendiendo al aspecto general que presentaban las plantas y su sintomatología de daños. De manera más detallada, al mes de haber realizado la helada, se efectuó un control visual en mazorcas de las plantas heladas comparándolas con las mazorcas de las plantas testigo.

En cuanto a los síntomas visuales que presentaban las plantas a las 24-48 horas de la helada, estos fueron comunes para las dos variedades de maíz utilizadas, y un ejemplo del aspecto que presentaban pueden observarse en las Figuras 29 a 33.

En el caso de la helada de -3°C se observaron síntomas mucho más claros que en el caso de la helada a 0°C . Los síntomas de daño por heladas a -3°C empezaron a aparecer alrededor de 1 o 2 días después de la ocurrencia de la helada. Después de 24 horas, las plantas de maíz comenzaron a tomar un color negruzco. Las hojas se fueron secando y adquirieron tonalidades grisáceas y marrones. Las hojas se secaron comenzando siempre por las de la parte más alta de la planta hacia abajo. Los tejidos dañados comenzaron a marchitarse. De la misma forma, el tallo de algunas plantas también se secó. Algunos de los tallos perdieron consistencia e incluso en ciertas plantas, sobre todo en aquellas en las que la helada se aplicó en los momentos fisiológicos iniciales, los tallos se rompieron. También se secaron las espigas de las mazorcas. Se observó la presencia de moho en la base de las hojas así como en la zona de inserción de la mazorca en el tallo. Además, cuando la helada se aplicó en los estadios mas avanzados, en los que la mazorca ya tenía un peso considerable, tras la helada, la zona de inserción de la mazorca en el tallo perdía consistencia y las mazorcas quedaban colgando. Sin embargo, si hablamos de las plantas que sufrieron la helada a 0°C , en la mayoría de los casos, el cultivo no presentó ningún síntoma visual de daños. De hecho, las distintas zonas de la planta se mantuvieron aparentemente intactas y de color verde. Lo que era común en todas las plantas, tanto las de helada suave como las

de helada severa, era la aparición de manchas marrones en forma de pico en la zona de inserción de la hoja al tallo (Figura 28).

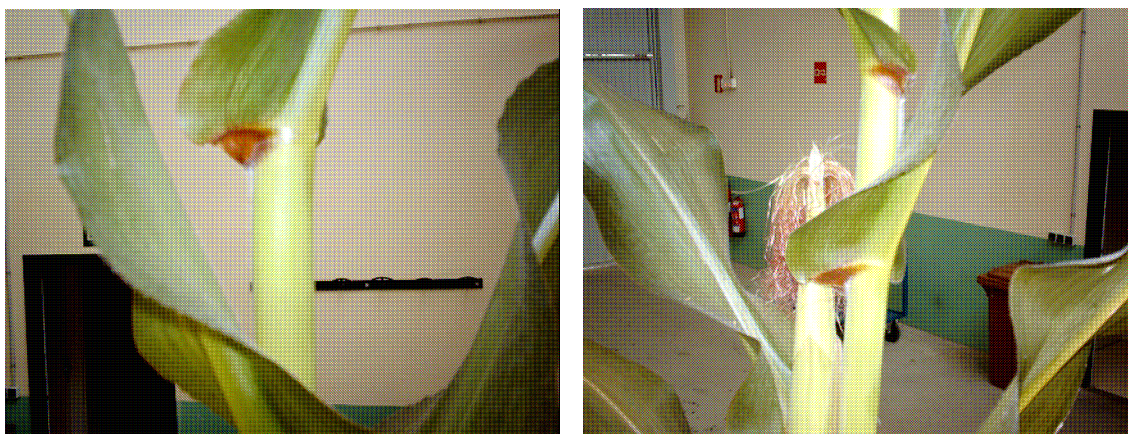


Figura 28. Sintomatología de daños por helada



Figura 29. Aspecto general de las plantas a las 24 horas de helada a -3°C .



Figura 30. Aspecto general de las plantas a las 24 horas de helada a 0°C .



Figura 31. Aspecto general de plantas a las 48 horas de helada a -3°C .



Figura 32. Detalle planta helada 0 °C.

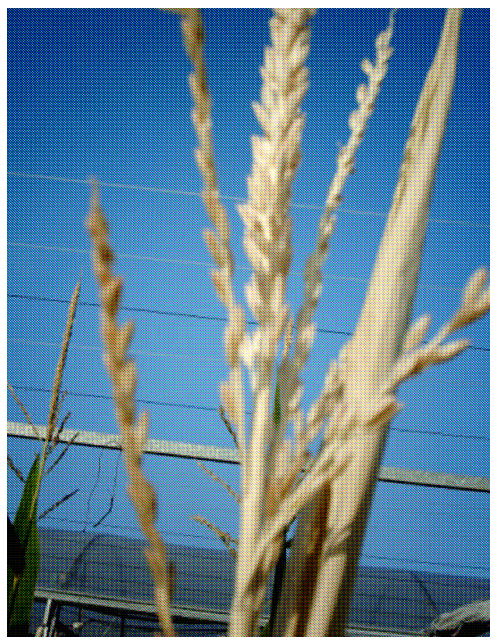


Figura 33. Detalle planta helada -3 °C.

Al mes de cada uno de los momentos de intervención, se hizo una valoración más detallada, tanto del aspecto general que presentaban las plantas, como de las mazorcas, comparando las utilizadas en las heladas con las de las plantas testigo.

En lo que se refiere a la sintomatología visual y aspecto de la planta, los daños que se habían descrito para las plantas a las 24-48 horas de las heladas, fueron adquiriendo gradualmente síntomas más claros y graves. Las diferencias entre las plantas de 0 °C y -3 °C se hicieron más palpables, como se ve en los ejemplos de las Figuras 34 a 43. Las plantas que habían sufrido la helada más severa presentaban un aspecto marchito, con caída de hojas y debilitamiento del tallo. Por su parte, la gran mayoría de las plantas sometidas a la helada a 0 °C, seguían sin ofrecer síntoma aparente alguno de haber sufrido daños, siendo su aspecto similar al de las plantas testigo.

En cuanto al estado de las mazorcas, al mes de la helada si que se puede decir que hay diferencias entre las mazorcas de plantas testigo y de las plantas heladas a -3°C, sobre todo si nos referimos a los momentos de intervención iniciales, M1, M2 y M3 especialmente. A partir del cuarto momento las diferencias en general son menores. En lo referido a las heladas a 0 °C, los daños en las mazorcas son muy inferiores, y a partir del segundo momento de intervención, prácticamente no hay lesiones que puedan

atribuirse a efectos de la helada. De hecho, a simple vista, no se observó ningún síntoma que diferenciase claramente las mazorcas de las plantas heladas a 0 °C y de las testigos. Los efectos más severos visualmente fueron granos sin llenar, mas pequeños, e incluso granos que habían comenzado a germinar.



Figura 34. Helada -3°C

Figura 35. Helada a 0°C

Figura 36. Testigo

Aspecto general de las plantas trascurrido 1 mes tras haber sufrido la helada



Figura 37. Helada -3°C

Figura 38. Helada a 0°C

Figura 39. Testigo

Detalle de plantas trascurrido 1 mes tras haber sufrido la helada

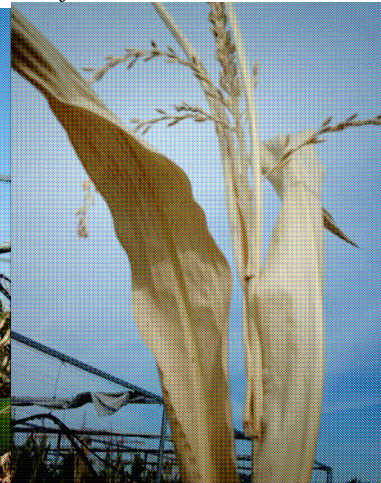


Figura 40. Helada -3°C **Figura 41.** Helada a 0°C **Figura 42.** Helada a -3°C
Detalle de plantas trascurrido 1 mes tras haber sufrido la helada.

Respecto a la sintomatología visual de las mazorcas, no presentaban grandes diferencias entre una variedad y otra.

No se pudieron sacar conclusiones relevantes a partir de la sintomatología visual analizada en los controles a lo largo del ciclo. Sí que se intuyen diferencias entre las heladas fuertes (-3°C) y suaves (0°C); y los efectos según el momento de intervención. Sin embargo, no se apreció variabilidad entre los efectos en las plantas de ciclo 400 respecto a las de 600.

Como consecuencia de lo anterior hay que apuntar que, cara a la impresión de los daños provocados por heladas, es necesario dejar pasar al menos 1 mes para obtener impresiones visuales de daño en mazorcas. A las 24-48 de las heladas, únicamente en aquellas plantas de helada a -3°C se consiguen describir efectos que delaten daños. Obviamente el mejor control es el que se realiza en recolección, no en fases anteriores.

5.2. Controles al final del ciclo

Los controles finales se basan en el análisis de las dos variedades de maíz utilizadas (ciclo 400 y ciclo 600) primero por separado, y posteriormente, se efectúa un estudio comparativo entre ambas.

5.2.1. Variedad 400 (PR35Y65, PIONEER)

En la Figura 43 se puede observar el aspecto de las mazorcas de la variedad 400 para cada uno de los tratamientos en el momento de la recolección. En ella se hace una comparación de las mazorcas de plantas testigos y plantas que sufrieron heladas de 0°C y -3°C para cada uno de los momentos de aplicación.

Asimismo en la Figura 44 se puede observar el aspecto de los granos de maíz de las plantas de los diferentes tratamientos y momentos de aplicación. El número de granos de cada grupo es el mismo en todos los casos. En ellas se puede observar que los granos de las plantas heladas son de menor tamaño que los de las plantas testigo y que en algunos casos, como en los momentos 1, 2 y 3, los granos no estaban completamente llenos, sobre todo en las heladas de -3°C .

Visto el aspecto general que presentaron tanto mazorcas como granos de maíz para la variedad 400 y cada uno de los momentos de aplicación de helada, en las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos para los parámetros analizados. Se trata de tablas de doble entrada. En las filas se ha recogido el tipo de tratamiento (helada moderada, helada severa y testigo) y en las columnas viene reflejado el momento de intervención.

Para la obtención de los resultados medios se eliminaron una serie de mazorcas. Tras la helada a -3°C , en el momento 1 (floración) hubo 2 mazorcas de las 6 que no siguieron con su desarrollo, por lo que se tomó valores de 0 para esas dos plantas a la hora de hacer los cálculos. De igual forma, algunas de las mazorcas que habían sido abiertas para su examen al mes de haberse realizado la helada, presentaban afecciones relativamente importantes por ataque de hongos. Se decidió no contar con estas mazorcas para la obtención de los resultados. Se trataba de 2 mazorcas de M3 con helada fuerte; 1 mazorca de M5 con helada fuerte y 1 con helada moderada; y 1 mazorca de M6 con helada fuerte y otra con helada moderada.

Apuntar que las plantas testigo se considera que han sufrido una temperatura mínima de $3,8^{\circ}\text{C}$, tal y como se apuntó en el apartado *Material y Métodos*.

▪ **Peso seco de la mazorca**

En la Tabla 10 aparece el peso seco de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación. Como se observa en ella, las heladas a -3°C causaron un descenso significativo de este parámetro para los cuatro primeros momentos de intervención, marcándose unos efectos severos sobre todo para los momentos de aplicación 1 y 2. Por lo que respecta a la helada a 0°C , no se han obtenido diferencias significativas respecto a las plantas testigo. De hecho, si se atiende a los pesos registrados para la helada suave y se comparan con los de los testigos, se ve como, globalmente, se han obtenido mayores pesos (no significativo) para las mazorcas sometidas a helada suave que para las mazorcas de plantas testigo. Por lo que se puede deducir que una helada a 0°C no tiene influencia sobre los pesos finales de las mazorcas.

En cuanto a los distintos momentos de aplicación, la helada a 0 °C causó un efecto similar para todos los momentos, no observándose diferencias significativas entre ellos.

De igual manera, en el caso de la helada más severa (-3 °C), los momentos 5 y 6 no reflejan un descenso de peso significativo en mazorcas. Por tanto, en caso de heladas, conforme más tardía sea, menos influencia en los resultados finales tiene.

Tabla 10. *Peso seco de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.*

PESO SECO MAZORCA (g)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	189,1 a A*	189,1 a A	189,1 a A	189,1 a A	189,1 a A	189,1 a A
<i>Helada</i> 0°C	195,0 a A	216,4 a A	189,6 a A	197,4 a A	177,3 a A	171,4 a A
<i>Helada -</i> 3°C	9,4 b C	75,8 b B	109,2 b B	130,8 b AB	168,9 a A	177,9 a A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúscula en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ **Peso total de granos por mazorca**

En la Tabla 11 aparece el peso seco del grano de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación. Los resultados son similares a los obtenidos para el peso seco de mazorca.

Respecto al tipo de tratamiento, vuelve a ocurrir lo mismo que con las heladas a -3 °C, el descenso del peso del grano, es significativo para los cuatro primeros momentos de intervención. Por lo que respecta a la helada a 0 °C, no se obtienen diferencias significativas respecto a las plantas testigo. Se puede deducir que una helada a 0 °C no tiene influencia sobre los pesos finales de las mazorcas.

La helada a 0 °C causó un efecto similar para todos los momentos de intervención, no observándose diferencias significativas entre ellos. De igual manera, en el caso de la helada más severa (-3 °C), los momentos 5 y 6 no reflejan un descenso de peso del grano significativo. Nuevamente, en caso de heladas, conforme más tardía sea, menos influencia en los resultados finales tiene.

Tabla 11. *Peso seco del grano de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.*

PESO GRANO (g)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	158,4 a A*	158,4 a A	158,4 a A	158,4 a A	158,4 a A	158,4 a A
<i>Helada</i> 0°C	164,1 a A	182,5 a A	157,5 a A	166,2 a A	155,5 a A	138,3 a A
<i>Helada -</i> 3°C	7,5 b C	64,5 b B	84,9 b B	103 b AB	139,2 a A	143,9 a A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúscula en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ Número de granos por mazorca

En cuanto al número de granos por mazorca, los resultados se observan en la Tabla 12. Por lo que respecta a diferencias entre tratamientos, se puede apreciar como a pesar de la helada a 0 °C, el número de granos por mazorca es incluso mayor (excepto para el momento 6) que el de las plantas testigo, por lo que nada hace pensar que el daño por frío con la helada suave influya en el número de granos. Para la helada a - 3 °C si que se observan diferencias significativas, pero únicamente para los momentos 1 y 2.

Sin duda el caso más desfavorable es el momento 1 de la helada fuerte, pues existe una drástica disminución del número de granos por mazorca. En el momento 2 de este mismo tratamiento también hay una bajada considerable de este parámetro, pero a partir del momento 3, no hay diferencias significativas.

Tabla 12. Numero de granos de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamiento y momento de aplicación.

NÚMERO DE GRANOS POR MAZORCAS						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	573,1 a A*	573,1 a A	573,1 a A	573,1 a A	573,1 a A	573,1 a A
<i>Helada</i> 0°C	613,4 a AB	621,0 a AB	590,0 a AB	644,2 a A	595,8 a AB	483,8 a B
<i>Helada -</i> 3°C	27,2 b C	273,4 b B	574,0 a A	574,0 a A	681,0 a A	567,8 a A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúscula en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ **Peso específico**

La Tabla 13 muestra el peso específico de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

El peso específico es superior para la helada a 0 °C que para las plantas testigo, aunque no existen diferencias significativas entre ambos tratamientos. Si que las hay respecto al ensayo con temperaturas a – 3 °C para todos los momentos de aplicación.

Y si comparamos las heladas por separado, en este caso si que no de constatan diferencias significativas entre los diferentes momentos de aplicación. Si que en el caso del momento 1 y helada fuerte la disminución en peso específico se hace más latente que en el resto de los resultados.

Tabla 13. Peso específico de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

PESO ESPECÍFICO (G/L)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	742,8 a A*	742,8 b A	742,8 a A	742,8 a A	742,8 a A	742,8 a A
<i>Helada</i>	764,1 a A	779,6 a A	765,4 a A	761,9 a A	777,6 a A	761,3 a A

0°C						
Helada - 3°C	423,2 b A	701,1 c A	618,1 b A	678,7 b A	679,1 b A	701,7 b A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúscula en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ Peso de mil granos

En la Tabla 14 aparece el peso de mil granos de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

Siguiendo la tónica habitual que marcan los resultados, no existen diferencias significativas entre las plantas testigo y las heladas a 0 °C. Y de igual forma, las que si ven mermadas el parámetro de estudio son las plantas sometidas a heladas a – 3 °C. Lo hacen en todos los momentos de aplicación exceptuando el último, el momento 6.

Y comparando las heladas por separado, no existen diferencias significativas entre los distintos momentos de aplicación del mismo tratamiento, ni para la helada suave, ni para la helada fuerte. Si bien es cierto, en el caso de la helada a – 3 °C, en los cuatro primeros momentos se ven afecciones más notorias que para los dos últimos momentos de intervención.

Tabla 14. *Peso de mil granos de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.*

PESO DE MIL GRANOS (G)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo (3,8°C)	280,4 a A*	280,4 a A	280,4 a A	280,4 a A	280,4 a A	280,4 a A
Helada 0°C	268,8 a A	296,3 a A	271,3 a A	257,9 a A	262,0 a A	286,4 a A
Helada - 3°C	153,0 b A	229,1 b A	148,2 b A	182,3 b A	205,0 b A	244,8 a A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúscula en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ Longitud

En la Tabla 15 aparece la longitud de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

Como se observa en ella, las heladas a -3°C causaron un descenso de este parámetro para los momentos 1 y 2. Especialmente severo es el descenso de longitud media de las mazorcas en el primer momento de intervención de helada fuerte. Por el contrario, para la helada a 0°C no se detectaron diferencias significativas.

En cuanto al análisis individual de cada tratamiento, para la helada a 0°C no hay diferencias significativas entre los distintos momentos de aplicación. Para la helada fuerte, sí que se puede apuntar un descenso de longitud en función del momento de intervención, sobre todo cuanto más temprana es la helada. De hecho, al llegar al momento 6 ya no existen diferencias significativas, cuando sí que existen para los otros momentos anteriores.

Tabla 15. Longitud media de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

LONGITUD (CM)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	18,1 a A*	18,1 a A	18,1 a A	18,1 a A	18,1 a A	18,1 a A
<i>Helada</i> 0°C	17,9 a A	18,5 a A	19,1 a A	18,1 a A	19,3 a A	19,3 a A
<i>Helada -</i> 3°C	6,8 b A	15,2 b A	17,3 a AB	18,1 AB	18,5 a AB	19,7 a A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúscula en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ Diámetro

En la Tabla 16 aparece el diámetro medio de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

Atendiendo a los datos, lo más significativo entre los distintos tratamientos es el descenso en diámetro del momento 1 de la helada fuerte. Los diámetros no sufren mermas para la helada a 0 °C. Sí que lo hacen en el caso de la helada más fuerte para los cuatro primeros momentos de intervención. Para los momentos de intervención 5 y 6 de la helada a – 3 °C ya no existen diferencias significativas.

Comparando los tratamientos individualmente, para la helada a – 3 °C sólo hay mermas significativas en el primer momento de intervención. Para el resto de los momentos los efectos son similares.

Tabla 16. Diámetro medio de las mazorcas de la variedad 400 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

DIAMETRO (CM)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	4,5 a A*	4,5 a A	4,5 a A	4,5 a A	4,5 a A	4,5 a A
<i>Helada</i> 0°C	4,6 a AB	4,7 a A	4,6 a AB	4,6 a A	4,3 a BC	4,3 a C
<i>Helada -</i> 3°C	2,2 b A	3,9 b A	4,1 b A	4,2 b A	4,5 a A	4,5 a A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúscula en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ **Discusión general**

En general, para todos los parámetros, las heladas a 0 °C no tienen ninguna influencia negativa en el resultado final. De hecho, en muchos de los casos, los valores de los tratamientos de helada suave son más positivos que los de las plantas testigo. Todo hace indicar que las heladas a 0 °C no suponen daños significativos.

En el caso de las heladas a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, en general, y para todos los parámetros, especialmente los de peso, el momento 1 (floración) se muestra como el momento más sensible, seguido en la mayor parte de los casos por los momentos 2 (semillas en vesícula), y 3 (madurez lechosa). Se observa claramente que en este caso, la helada causada en floración con helada severa, hizo que las mermas fueran altamente significativas. En el caso de los momentos 2 y 3, se trata de momentos iniciales de formación y llenado del grano, por lo que las heladas habrían causado un parón en este proceso haciendo también que las mazorcas no tengan un desarrollo normal. Para el resto de momentos, en algunos casos las heladas provocaron la disminución de ciertos parámetros pero, sin duda, de menor cuantía. Se observa, en la mayoría de los casos, que las heladas tienen un menor efecto sobre la mazorca cuanto más tardío es su desarrollo. De hecho, y sobre todo para los dos últimos momentos de intervención, en general no hay mermas de especial relevancia.

Así pues, con todo ello y como era de esperar, la helada más severa, $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, ha causado los daños mas graves, provocando las mayores disminuciones para todos los parámetros en los momentos iniciales de floración y semillas en vesícula.

5.2.2. Variedad 600 (PR35Y74, PIONEER)

En la Figura 45 se puede observar el aspecto de las mazorcas de la variedad 600 para cada uno de los tratamientos en el momento de la recolección. En ella se hace una comparación de las mazorcas de plantas testigos y plantas que sufrieron heladas de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ para cada uno de los momentos de aplicación.

Asimismo en la Figura 46 se puede observar el aspecto de los granos de maíz de las plantas de los diferentes tratamientos y momentos de aplicación. El número de granos de cada grupo es el mismo en todos los casos. En ellas se puede observar, al igual que ocurría con la variedad 400, que los granos de las plantas heladas son de menor tamaño que los de las plantas testigo y que en algunos casos, como en los momentos iniciales 1, 2 y 3, los granos no estaban completamente llenos, sobre todo si nos referimos a las heladas de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Del mismo modo que pasaba con la variedad 400, las heladas a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ no presentan síntomas visuales tan relevantes ni en las mazorcas ni en los granos como

ocurre con las heladas fuertes. Sí que se ven efectos a primera vista, pero conforme la helada es más tardía, la sintomatología de daños es más moderada.

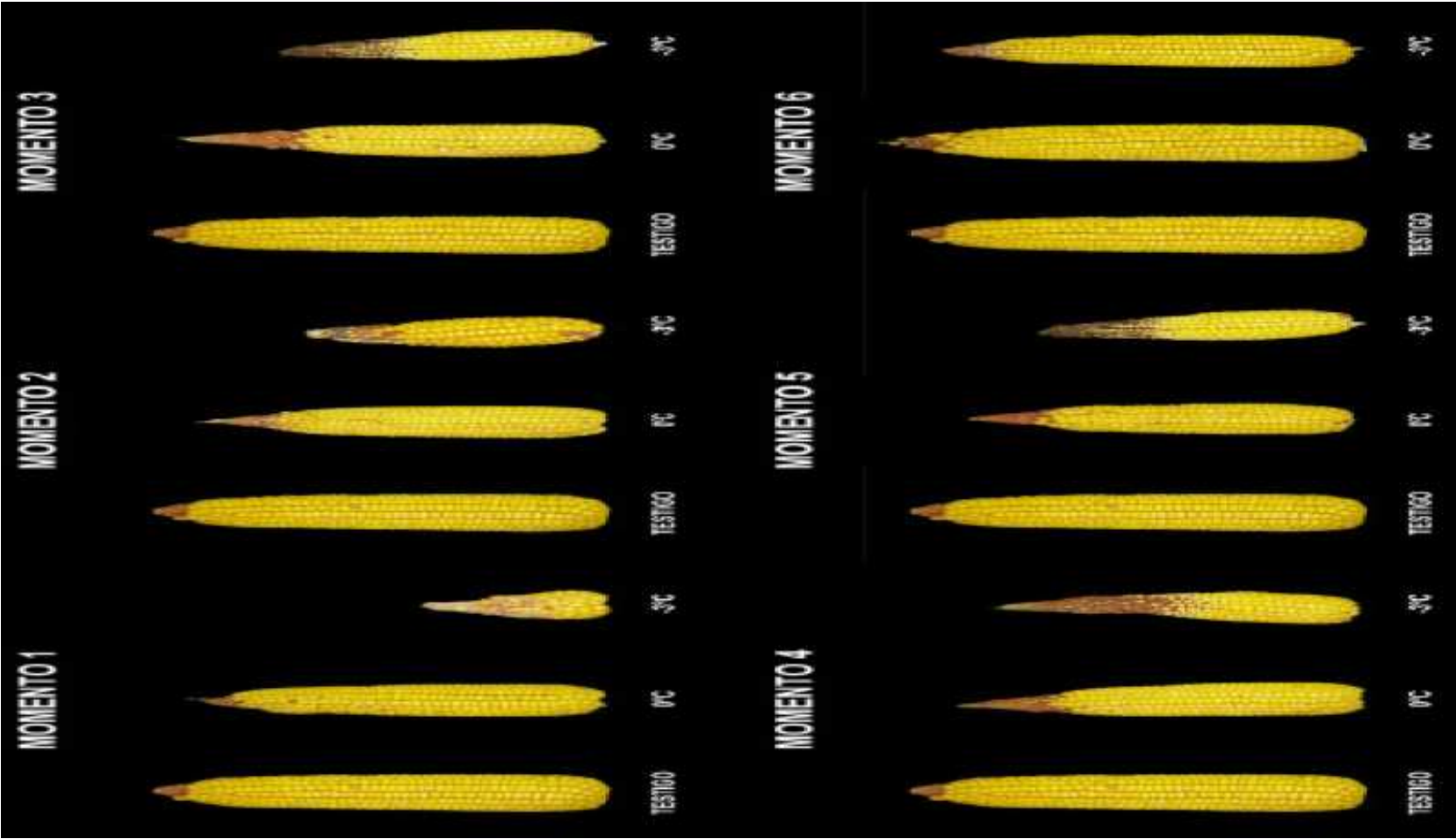


Figura 45. Imagen comparativa de las mazorcas de la variedad 600 para cada uno de los tratamientos en los diferentes momentos de aplicación

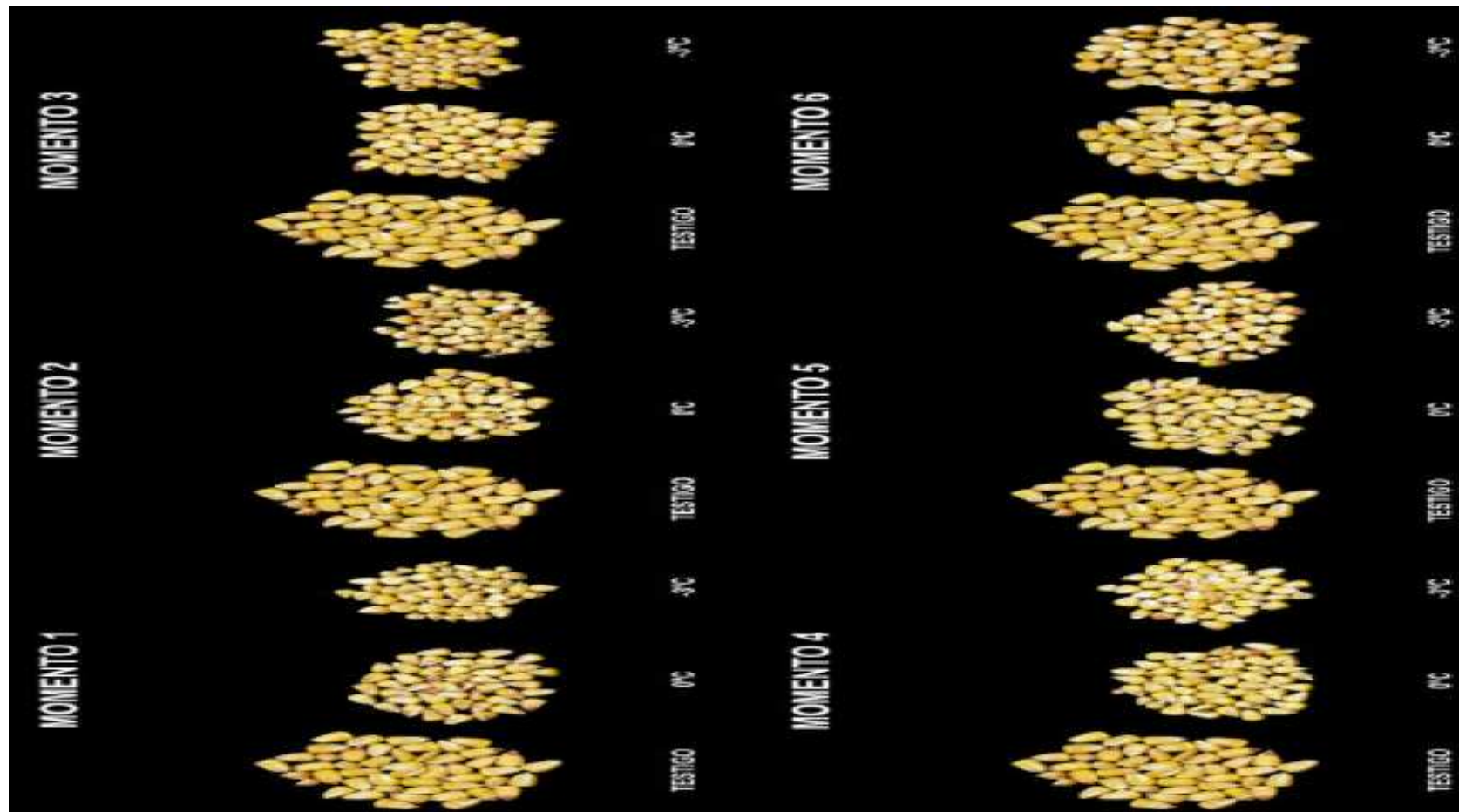


Figura 46. Aspecto general del mismo número de granos de maíz de la variedad 600 de plantas testigo y sometidas a heladas en cada momento.

Visto el aspecto general que presentaron tanto mazorcas como granos de maíz para la variedad 600 y cada uno de los momentos de aplicación de helada, en las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos para los parámetros analizados. Se trata, al igual que en el anterior apartado con la variedad 400, de tablas de doble entrada. En las filas se ha recogido el tipo de tratamiento (helada moderada, helada severa y testigo) y en las columnas viene reflejado el momento de intervención.

Para la obtención de los resultados medios, también se eliminaron algunas mazorcas. Sin embargo, no se han eliminado tantas como para la variedad de 400. Tan sólo se han suprimido para hacer los cálculos algunas mazorcas que tras haber sido abiertas para su examen al mes de haberse realizado la helada, presentaban afecciones relativamente importantes por ataque de hongos. Se trataba de 2 mazorcas de M3 con helada fuerte; 1 mazorca de M4 con helada fuerte y 1 con helada moderada; y 1 mazorca de M5 con helada fuerte.

Apuntar que las plantas testigo se considera que han sufrido una temperatura mínima de 3,8 °C, tal y como se apuntó en el apartado *Material y Métodos*.

▪ **Peso seco de la mazorca**

En la Tabla 17 aparece el peso seco de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

En primer lugar, para el peso seco de la mazorca, existen en la mayoría de los supuestos, diferencias significativas entre los tres tratamientos. Para los cinco primeros momentos de intervención en la helada a 0 °C, hay una merma importante de gramos de mazorca respecto a las plantas testigo. Si hablamos de la helada fuerte, este descenso en peso es muchísimo más grave, al menos, en los cuatro momentos iniciales. Para el momento 6 de la helada a 0 °C ya no existen diferencias significativas; y para la helada a -3 °C, los momentos 5 y 6 siguen denotando una bajada en peso, aunque menos severa que en estadios anteriores.

Comparando cada tratamiento por separado, la helada a 0 °C causó un efecto similar para todos los momentos de aplicación, no observándose diferencias significativas entre ellos, excepto para el momento 6. Sí que se observaron diferencias significativas entre

los dos primeros momentos de aplicación de la helada a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ respecto al resto de los momentos de ese mismo tratamiento. Parece que los momentos 5 y 6 resisten de manera más solvente la bajada de peso para la helada fuerte.

Tabla 17. *Peso seco de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.*

PESO SECO MAZORCA (g)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	222,2 a A*	222,2 a A	222,2 a A	222,2 a A	222,2 a A	222,2 a A
<i>Helada</i> 0°C	148,5 b B	151,7 b B	145,9 b B	157,9 a B	146,4 b B	235,3 a A
<i>Helada -</i> 3°C	23,2 c B	72,2 AB	94,4 b A	85,1 b A	134,3 b A	139,3 b A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúsculas en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ **Peso total del grano por mazorca**

En la Tabla 18 aparece el peso seco del grano de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación. Los resultados son bastante similares a los obtenidos para el peso seco de mazorca.

Los momentos 5 y 6 en ambos tratamientos parecen ser los menos afectados por la bajada en peso del grano. En los cuatro primeros momentos de aplicación de la helada a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ sí que se encuentran diferencias significativas respecto a las plantas testigo. Para la helada a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, las mermas parecen ser menos importantes, aunque el único momento para el cual no existe un descenso estadísticamente significativo es para el momento 6.

Y comparando cada tratamiento por separado, el análisis es prácticamente idéntico que para el caso del peso de la mazorca. La helada a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ causó un efecto similar para todos los momentos de aplicación, no observándose diferencias significativas entre ellos, excepto para el momento 6. Y sí que se observaron diferencias significativas entre los dos primeros momentos de aplicación de la helada a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ respecto al resto de los momentos de ese mismo tratamiento, sobre todo para el primer momento. Nuevamente,

parece que los momentos 5 y 6 resisten de manera más solvente la bajada de peso para la helada fuerte.

Tabla 18. *Peso seco del grano de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.*

PESO GRANO (g)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	184,5 a A*	184,5 a A	184,5 a A	184,5 a A	184,5 a A	184,5 a A
<i>Helada</i> 0°C	122,7 a B	126,7 a B	106,9 b B	130,2 ab B	118,8 a B	194,3 a A
<i>Helada -</i> 3°C	18,5 b B	59,1 b AB	74,4 b A	65,6 b AB	106,8 a A	107,7 b A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúsculas en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ Número de granos por mazorca

En cuanto al número de granos por mazorca, los resultados se observan en la Tabla 19. Por lo que respecta a diferencias entre tratamientos, para la helada a 0 °C existe un descenso en el número medio de granos por mazorca, aunque no lo suficiente como para marcar diferencias estadísticamente significativas, aspecto que si ocurre para la helada más fuerte. Se deduce que el caso más crítico es el momento 1 y de la helada a – 3 °C.

Analizando cada tratamiento individualmente, la helada a 0 °C causó un efecto similar para todos los momentos de aplicación, no observándose diferencias significativas entre ellos. Para la helada a – 3 °C, quien marca mayores contrastes es el momento 1. El resto de valores de la helada fuerte se mueven en rangos parecidos.

Tabla 19. Numero de granos de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamiento y momento de aplicación.

NÚMERO DE GRANOS POR MAZORCA						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	582,7 a A*	582,7 a A	582,7 a A	582,7 a A	582,7 a A	582,7 a A
<i>Helada</i> 0°C	478 a A	535,4 a A	456,4 ab A	488,4 a A	383,4 a A	520,2 ab A
<i>Helada -</i> 3°C	82,6 b B	256,4 b AB	342,4 b A	280,8 b AB	478,0 a A	353,4 b A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúsculas en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ **Peso específico**

La Tabla 20 muestra el peso específico de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

En el caso de la helada a 0 °C, prácticamente para todos los momentos de aplicación (excepto el momento 1) hay diferencias significativas, con un descenso del peso específico respecto a las plantas testigo. En el caso de la helada a – 3 °C, los momentos más sensibles son el 1 y el 3. Anotar que a partir del momento 4, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de helada fuerte y helada suave, aunque sí las hay respecto a las testigo.

Viendo cada uno de los ensayos por separado, para la helada a – 3 °C sólo hay diferencias del momento 1 respecto al resto, corroborando la idea de ser el punto más crítico de los parámetros medidos. Para el resto de los momentos de helada a – 3 °C no hay influencia en los resultados. En cuanto a la helada a 0 °C, se puede intuir una mayor sensibilidad de los momentos 1, 2 y 3.

Tabla 20. *Peso específico de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.*

PESO ESPECÍFICO (G/L)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	919,9 a A*	919,9 a A	919,9 a A	919,9 a A	919,9 a A	919,9 a A
<i>Helada</i> 0°C	766,7 a ABC	747 b BC	695,5 b C	779,3 b AB	805,3 b AB	837,3 b A
<i>Helada -</i> 3°C	444,3 b B	714,4 c A	782,0 c A	830,7 b A	807,5 b A	815,0 b A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúsculas en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ **Peso de mil granos**

En la Tabla 21 aparece el peso de mil granos de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

Para el tratamiento a 0 °C, existe un descenso generalizado del peso de mil granos. Sin embargo, para los momentos 1, 5 y 6 no hay diferencias significativas. De hecho, para este último momento (M6), el peso es superior que en las plantas testigo. En la helada a – 3 °C, existen diferencias significativas para todos los momentos excepto para el último. Por tanto, para el momento 6 no hay diferencias entre ninguno de los tratamientos, siendo incluso superior el peso en las plantas sometidas a heladas que en las testigo.

Individualmente, la helada a – 3 °C tiene en el momento 1 su punto más crítico, evolucionando hasta el momento 6, en el que no hay efectos por la helada. La helada a 0 °C sigue una tendencia similar, aunque es el momento 3 el que mayores diferencia significativas marca.

Tabla 21. *Peso de mil granos de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.*

PESO DE MIL GRANOS (g)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	311,3 a A*	311,3 a A	311,3 a A	311,3 a A	311,3 a A	311,3 a A
<i>Helada</i> 0°C	256,3 a BC	237,0 b BC	229,7 b C	262,0 ab BC	307,1 a B	372,4 a A
<i>Helada -</i> 3°C	134,3 b B	227,3 b AB	213,8 b AB	240,0 b AB	220,9 b AB	318,5 a A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúsculas en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ Longitud

En la Tabla 22 aparece la longitud de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

Como se observa en ella, para el tratamiento a 0 °C no hay diferencias significativas, y la longitud media de las mazorcas es incluso mayor que la de las testigo en el momento de aplicación 6. En el caso de las heladas a – 3 °C, existen diferencias estadísticamente significativas para los cuatro primeros momentos, sobre todo para los momentos 1 y 2.

Para los momentos 5 y 6 la longitud no se ve mermada de manera pronunciada. En cuanto al análisis individual de cada tratamiento, para la helada a 0 °C no hay diferencias significativas entre los distintos momentos de aplicación. Para la helada fuerte, si que se puede apuntar un descenso de longitud en función del momento de intervención, sobre todo cuanto más temprana es la helada. De hecho, al llegar a los momento 5 y 6 ya no existen diferencias significativas, cuando si que existen para los otros momentos anteriores.

Tabla 22. Longitud media de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

LONGITUD (cm)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	18,5 a A*	18,5 a A	18,5 a A	18,5 a A	18,5 a A	18,5 a A
<i>Helada</i> 0°C	17,0 a A	17,2 a A	17,1 a A	17,5 a A	16,8 a A	19,4 a A
<i>Helada -</i> 3°C	9,2 b C	11,8 b BC	14,1 b AB	15,1 b AB	17,5 a A	18,0 a A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúsculas en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ Diámetro

En la Tabla 23 aparece el diámetro medio de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

Atendiendo a los datos, en la helada a 0 °C los momentos más sensibles son el 3, 4 y 5. Para el resto no hay diferencias significativas. Para la helada a – 3 °C, en todos los momentos de aplicación hay diferencias significativas, presentándose como especialmente sensibles, los momentos 1 y 2.

Comparando los tratamientos individualmente, para la helada a – 3 °C sólo hay mermas significativas en el primer momento de intervención. Para el resto de los momentos los efectos son similares. En el caso de la helada a 0 °C hay diferencias del momento 6 respecto al resto de los momentos.

Tabla 23. Diámetro medio de las mazorcas de la variedad 600 para cada una de las combinaciones de tratamientos y momentos de aplicación.

DIAMETRO (cm)						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Testigo</i> (3,8°C)	4,8 a A*	4,8 a A	4,8 a A	4,8 a A	4,8 a A	4,8 a A
<i>Helada</i> 0°C	4,4 a AB	4,5 a AB	4,5 ab AB	4,5 ab AB	4,2 b B	5,0 a A
<i>Helada -</i> 3°C	2,7 b B	3,8 b A	4,2 b A	4,1 b A	4,2 b A	4,4 b A

*Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúsculas en filas, difieren estadísticamente ($p < 0,05$) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

▪ **Discusión general**

Al igual que en la variedad 400, para todos los parámetros, especialmente los de peso, el momento 1 (floración) se muestra como el momento más sensible a las heladas, seguido por el momento 2 (semillas en vesícula). En este caso se observa también que la helada causada en floración y, especialmente con la helada severa, hizo que las mermas más importantes se concentrasen en este punto crítico.

En general, para todos los parámetros, las heladas a 0 °C tienen menor influencia negativa en el resultado final que las heladas a – 3 °C. Sin embargo, de los resultados obtenidos se deduce que la influencia de la helada de 0 °C sobre los parámetros finales es mayor en la variedad de 600 que en la de 400. Mientras que la variedad de ciclo 400 no mostraba apenas mermas en sus resultados tras haberle sometido al tratamiento de helada a 0 °C, la variedad de 600, a pesar de que los descensos que presenta a 0 °C no son tan influyentes como las que aparecen tras la aplicación del tratamiento de – 3 °C, si que parece presentar más susceptibilidad al frío. De todos modos, en el siguiente epígrafe del presente apartado se muestran comparaciones más explícitas entre ambas variedades.

Como ya se ha comentado, el caso de las heladas a – 3 °C y momento 1, floración, se muestra como el momento más sensible. Se observa claramente que en este caso, la helada causada en floración con helada severa, hizo que las mermas fueran altamente significativas. En el caso de los momentos 2 y 3, se trata de momentos iniciales de formación y llenado del grano, por lo que las heladas habrían causado un parón en este

proceso haciendo también que las mazorcas no tengan un desarrollo normal. Para el resto de momentos, en algunos casos las heladas provocaron la disminución de ciertos parámetros pero, sin duda, de menor cuantía. Se observa, en la mayoría de los casos, que las heladas tienen un menor efecto sobre la mazorca cuanto más tardías son. De hecho, y sobre todo para los dos últimos momentos de intervención, en general no hay mermas de especial relevancia.

Así pues, con todo ello y como era de esperar, al igual de lo que ocurre con la variedad 400, la helada más severa, - 3 °C, ha causado los daños mas graves, provocando las mayores disminuciones para todos los parámetros en los momentos iniciales de floración y semillas en vesícula.

5.2.3. Comparación de variedades

Se ha realizado una comparación entre la respuesta de las variedades para cada uno de los parámetros estudiados. Para ello se han calculado, para cada variedad, los porcentajes de reducción de cada uno de los parámetros en relación a los testigos.

Los resultados del análisis de las reducciones de los diferentes parámetros analizados en función de los momentos de aplicación y de las heladas, se observan en las Figuras y en las Tablas que aparecen a continuación.

En la Tabla 24 se muestra la comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del **peso seco de mazorca** en función de los momentos de aplicación.

Se puede apreciar la nula influencia de la helada a 0 °C sobre la variedad 400, ya que de hecho, los valores negativos que aparecen en la tabla indican que los pesos son mayores para las mazorcas heladas a 0 °C que para las testigos. Sin embargo, esta misma helada, si que tiene un efecto, y bastante homogéneo, sobre todos los momentos de la variedad 600, a excepción del momento 6, en el cual el peso de la mazorca helada es superior al testigo.

Por el contrario, la helada a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ sí que tiene efectos más severos sobre ambas variedades, sobre todo en los momentos iniciales. De nuevo, la variedad 600 aparece como la más sensible al frío.

Estadísticamente, no existen diferencias significativas entre ambas variedades para los momentos 5 y 6 en el caso del tratamiento de helada suave, y en los tres momentos iniciales de aplicación para el caso del tratamiento de helada fuerte.

Tabla 24. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del peso de mazorca en función de los momentos de aplicación.

REDUCCIÓN PESO DE MAZORCA (%)							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Helada 0°C</i>	<i>Var. 400</i>	-3,11	-14,45	-28	-4,39	6,27	9,36
	<i>Var 600</i>	33,16	31,72	34,35	28,92	34,10	-5,91
	<i>Sig.</i>	**	**	*	*	Ns	Ns
<i>Helada - 3°C</i>	<i>Var 400</i>	95.02	59.94	42,26	30.84	10.70	5,93
	<i>Var. 600</i>	89.58	67.49	57.50	61.70	39.54	37.30
	<i>Sig</i>	Ns	Ns	Ns	**	*	*

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

Los resultados del análisis de las reducciones del peso seco de mazorca, en función de la helada aplicada, se observan también en la Tabla 25.

De ellas se deduce que la variedad 600 es más sensible al frío tanto a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ como a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el parámetro peso seco de mazorca. Como es lógico, los efectos son más severos con la helada fuerte, para la cual no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 25. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del peso de mazorca en función de la severidad de la helada aplicada.

REDUCCIÓN PESO DE MAZORCA (%)		
	0°C	-3°C
Var. 400	-1,10	40,78
Var. 600	26,06	58,85
Sig.	*	ns

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

En la Tabla 26 se muestra la comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del **peso total de granos por mazorca** en función de los momentos de aplicación.

Los resultados obtenidos para este parámetro se asemejan mucho a los conseguidos para el peso seco de la mazorca. Nuevamente se puede apreciar la nula influencia de la helada a 0 °C sobre la variedad 400, ya que de hecho, los valores negativos que aparecen en la tabla indican que los pesos son mayores para las mazorcas heladas a 0 °C que para las testigo. Sin embargo, esta misma helada, si que tiene un efecto, y bastante homogéneo, sobre todos los momentos de la variedad 600, a excepción del momento 6, en el cual el peso del grano que ha sufrido helada es superior al testigo.

Por el contrario, la helada a – 3 °C si que tiene efectos más severos sobre ambas variedades, sobre todo en los momentos iniciales. De nuevo, la variedad 600 aparece como la más sensible al frío. Estadísticamente, no existen diferencias significativas entre ambas variedades para los momentos 5 y 6 en el caso del tratamiento de helada suave, y en los tres momentos iniciales de aplicación para el caso del tratamiento de helada fuerte.

Tabla 26. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del peso de total del grano por mazorca en función de los momentos de aplicación.

REDUCCIÓN PESO DE GRANO (%)							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Helada 0°C</i>	<i>Var. 400</i>	-3,59	-15,21	0,58	-4,92	1,79	12,70
	<i>Var 600</i>	33,51	31,33	42,08	29,44	35,60	5,33
	<i>Sig.</i>	**	**	*	*	Ns	Ns
<i>Helada - 3°C</i>	<i>Var 400</i>	95,28	59,25	46,42	34,72	12,08	9,14
	<i>Var. 600</i>	90,00	67,94	59,66	64,43	42,11	41,61
	<i>Sig</i>	Ns	Ns	Ns	**	*	*

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

Los resultados del análisis de las reducciones del peso del grano, en función de la helada aplicada, se observan también en la Tabla 27 y en la Figura 54. De ellas se deduce que la variedad 600 es más sensible al frío tanto a 0 °C como a – 3°C para el parámetro peso del grano. Cómo es lógico, los efectos son más severos con la helada fuerte, para la cual no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 27. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del peso de grano mazorca en función de la severidad de la helada aplicada.

REDUCCIÓN PESO DE MAZORCA (%)		
	0°C	-3°C
Var. 400	-1,44	42,81
Var. 600	27,77	60,96
Sig.	*	ns

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

En la Tabla 28 se muestra la comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del **número de granos por mazorca** en función de los momentos de aplicación.

Se puede ver como ha helada a 0 °C sólo tiene afecciones sobre la variedad de 600. Para la helada a – 3 °C los efectos son nulos a partir del tercer momento de aplicación para la 400, mientras que para la 600 hay en todos los momentos descenso del número de

granos. Ambas variedades coinciden en mostrar su punto crítico en el momento 1 y helada fuerte. En el tratamiento a 0 °C no existen diferencias significativas entre las dos variedades para los momentos 2, 3 y 6. En el caso del tratamiento a – 3 °C, no existen diferencias estadísticas para los dos primeros momentos de aplicación.

Tabla 28. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del número de granos por mazorca en función de los momentos de aplicación.

REDUCCIÓN NÚMERO DE GRANOS (%)							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Helada 0°C	Var. 400	-7,03	-8,35	-2,95	-12,40	-3,95	15,59
	Var 600	17,96	8,11	21,67	16,18	34,20	10,72
	Sig.	**	NS	NS	*	*	Ns
Helada - 3°C	Var 400	95,25	52,30	-0,15	-0,15	-18,82	-2,55
	Var. 600	85,82	55,99	41,23	51,81	17,96	39,35
	Sig	Ns	Ns	*	**	*	*

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

Los resultados del análisis de las reducciones del número de granos por mazorca, en función de la helada aplicada, se observan también en la Tabla 29 y en la Figura 56.

De ellas se deduce que la variedad 600 es más sensible al frío tanto a 0 °C como a – 3°C también para este parámetro.

Tabla 29. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del número de granos por mazorca en función de la severidad de la helada aplicada.

REDUCCIÓN NÚMERO DE GRANOS (%)		
	0°C	-3°C
Var. 400	-3,18	20,98
Var. 600	18,14	48,69
Sig.	*	*

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

En la Tabla 30 se muestra la comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del **peso específico** en función de los momentos de aplicación.

Al igual que ocurría con el peso seco y el peso del grano, para el peso específico no hay influencia de la helada a 0 °C sobre la variedad 400. Esta misma helada, si que tiene un efecto, bastante homogéneo, sobre todos los momentos de la variedad 600.

La helada a – 3 °C tiene efectos severos sobre ambas variedades en el momento 1, aunque las reducciones son de menor cuantía que en otros casos. Del momento 2 en adelante, a pesar de haber mermas en el peso específico, desde luego que no son de la magnitud vista hasta ahora. Además las dos variedades se comportan de manera bastante similar. De hecho, no existen diferencias significativas entre ambas variedades en la helada fuerte excepto en el momento 2. En caso de la helada suave, para los momentos 5 y 6 es cuando no existen variaciones estadísticamente significativas.

Tabla 30. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del peso específico en función de los momentos de aplicación.

REDUCCIÓN PESO ESPECÍFICO (%)							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Helada 0°C	<i>Var. 400</i>	-2,87	-4,95	-3,04	-2,57	-4,68	-2,49
	<i>Var 600</i>	16,58	18,73	24,33	15,22	12,39	8,90
	<i>Sig.</i>	**	**	**	**	NS	Ns
Helada - 3°C	<i>Var 400</i>	43,03	5,62	16,78	8,62	8,57	5,53
	<i>Var. 600</i>	51,66	22,28	14,91	9,62	12,14	11,33
	<i>Sig</i>	Ns	**	NS	NS	NS	NS

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

Los resultados del análisis de las reducciones del peso específico, en función de la helada aplicada, se observan también en la Tabla 31. Para este parámetro resulta no haber diferencias significativas entre las variedades para la helada a – 3 °C, pues su comportamiento es bastante similar. Sí que existen diferencias para la helada a 0 °C, no porque la variedad 600 se vea gravemente afectada, sino por el nulo efecto de la helada sobre la variedad 400.

Tabla 31. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del peso específico en función de la severidad de la helada aplicada.

REDUCCIÓN NÚMERO DE GRANOS (%)		
	0°C	-3°C
Var. 400	-3,43	14,69
Var. 600	16,02	20,32
Sig.	*	NS

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

En la Tabla 32 se muestra la comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del **peso de mil granos** en función de los momentos de aplicación. En el caso de la helada a -3°C sólo el momento 3 presenta diferencias significativas entre variedades.

En el caso de la helada a 0°C sólo lo hace el momento 2, pues en el momento 6 se presentan pesos superiores en las plantas intervenidas respecto a las testigo. Las mermas sólo supera el 50 % en el caso de la variedad 600 y para el momento 1 de la helada fuerte.

Tabla 32. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del peso de mil granos en función de los momentos de aplicación.

REDUCCIÓN PESO DE MIL GRANOS (%)							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Helada 0°C	Var. 400	4,14	-5,67	3,28	8,03	6,56	-2,11
	Var 600	17,67	23,86	26,23	15,86	1,36	-19,61
	Sig.	NS	**	NS	NS	NS	**
Helada - 3°C	Var 400	45,44	18,30	47,16	35,00	26,89	12,71
	Var. 600	56,86	26,99	31,34	22,90	29,05	-2,30
	Sig	Ns	NS	*	NS	NS	NS

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

Los resultados del análisis de las reducciones del peso mil granos, en función de la helada aplicada, se observan también en la Tabla 33. Para la helada a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ las reducciones en peso de mil granos son similares. Con la helada a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ muestra una mayor sensibilidad la variedad 600.

Tabla 33. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del peso de mil granos en función de la severidad de la helada aplicada.

REDUCCIÓN PESO DE MIL GRANOS (%)		
	0°C	-3°C
Var. 400	2,37	30,92
Var. 600	10,89	27,47
Sig.	*	NS

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

En la Tabla 34 se muestra la comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción de la **longitud** en función de los momentos de aplicación.

El análisis de este parámetro sigue la tónica general del resto del estudio. Se puede constatar un nulo efecto de la helada a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre la variedad 400; y una ligera reducción en la longitud para la variedad 600 que en ningún momento supera el 10 %.

Los daños por helada a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ si son algo más severos sobre la variedad 600, pero cuanto más tardía es la helada, menos influencia parece tener. En el caso de la variedad 400, excepto el momento 1, el resto de los momentos muestran reducciones muy modestas.

Tabla 34. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del peso de mil granos en función de los momentos de aplicación.

REDUCCIÓN LONGITUD (%)							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>Helada</i> 0°C	<i>Var. 400</i>	1,14	-1,83	-5,25	0,04	-6,22	-6,49
	<i>Var 600</i>	8,03	6,84	7,38	5,55	9,22	-5,17
	<i>Sig.</i>	NS	**	**	NS	NS	NS
<i>Helada -</i> 3°C	<i>Var 400</i>	37,63	16,46	4,48	0,15	-1,94	-8,70
	<i>Var. 600</i>	50,23	36,06	23,51	18,31	5,44	2,62
	<i>Sig</i>	Ns	NS	NS	*	NS	NS

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

Los resultados del análisis de las reducciones de la longitud de la mazorca, en función de la helada aplicada, se observan también en la Tabla 35. De ellas se deduce que la variedad 600 es más sensible al frío tanto a 0 °C como a – 3 °C para el parámetro longitud de mazorca. Como es lógico, los efectos son más severos con la helada fuerte, para la cual existen diferencias estadísticamente significativas. La helada a 0 °C tienen efectos mínimos sobre ambas variedades.

Tabla 33. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción de la longitud de mazorca en función de la severidad de la helada aplicada.

REDUCCIÓN LONGITUD (%)		
	0°C	-3°C
Var. 400	-3,10	8,01
Var. 600	5,31	22,69
Sig.	Ns	*

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

En la Tabla 36 se muestra la comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del **diámetro** en función de los momentos de aplicación.

Se puede apreciar que las reducciones en el parámetro diámetro no son tan importantes como en el caso de los pesos (seco, del grano y de mil granos). Para ambas variedades el momento más crítico sigue siendo el primer momento de aplicación de helada a –

3°C. Para la helada fuerte, sólo existen diferencias estadísticamente significativas para el momento 5.

Tabla 36. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del diámetro en función de los momentos de aplicación.

REDUCCIÓN DIAMETRO (%)							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Helada 0°C	Var. 400	-1,73	-4,86	-2,18	-3,52	3,51	4,63
	Var 600	7,79	6,96	6,54	5,71	11,94	-3,43
	Sig.	**	**	**	NS	NS	*
Helada - 3°C	Var 400	31,00	13,44	9,27	5,85	0,72	0,16
	Var. 600	43,09	21,08	13,19	14,43	11,94	9,45
	Sig	Ns	NS	NS	*	NS	NS

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

Los resultados del análisis de las reducciones del peso seco de mazorca, en función de la helada aplicada, se observan también en la Tabla 37.

Cómo es lógico, los efectos son más severos con la helada fuerte, para la cual no existen diferencias estadísticamente significativas entre variedades. En el caso de la helada suave sí las hay, debido al mínimo efecto sobre la variedad 400.

Tabla 37. Comparación entre variedades 400 y 600 de la reducción del diametro de mazorca en función de la severidad de la helada aplicada.

REDUCCIÓN DIAMETRO (%)		
	0°C	-3°C
Var. 400	-0,69	10,07
Var. 600	5,92	18,86
Sig.	*	ns

*Sig: ns: diferencias no significativas; *: diferencias significativas con $p > 0,05$; **: diferencias significativas con $p < 0,001$; según la prueba t-Student.

En general, la variedad 600 ha mostrado los mayores valores de reducción y parece ser la más sensible al frío. Además, esas heladas afectan especialmente a los parámetros de

peso seco de la mazorca y peso del grano y, parece que en menor medida a las dimensiones de la mazorca. Cómo es lógico, los efectos de la helada a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ son más severos que si se trata del tratamiento a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. La variedad 400 parece ser resistente, o al menos, tolerar de manera bastante más eficaz, las heladas a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, pues las mermas en los parámetros estudiados son mínimos, y en algunos casos, nulos.

5.3. Curvas de reducción

Las ecuaciones de regresión obtenidas para cada variedad y parámetro pueden observarse en las Tablas 38 y 39. En estas curvas, la x se sustituirá por valores de temperatura $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la variable y da el porcentaje de reducción.

Tabla 38. Ecuaciones de regresión lineal de la variedad 400 para los diferentes parámetros analizados.

Peso de grano			Peso de mazorca		
Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²	Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²
1	$y = -12,928x + 34,954$	0,638	1	$y = -12,902x + 35,014$	0,641
2	$y = -7,792x + 17,56$	0,377	2	$y = -7,901x + 18,069$	0,391
3	$y = -5,577x + 15,65$	0,452	3	$y = -5,037x + 13,92$	0,412
4	$y = -4,642x + 11,575$	0,495	4	$y = -4,123x + 10,275$	0,483
5	$y = -1,642x + 5,229$	0,314	5	$y = -1,581x + 6,068$	0,497
6	$y = -1,549x + 7,435$	0,161	6	$y = -1,035x + 5,164$	0,075

Número de granos			Peso específico		
Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²	Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²
1	$y = -12,859x + 33,839$	0,619	1	$y = -5,815x + 15,386$	0,238
2	$y = -6,974x + 17,132$	0,386	2	$y = -0,672x + 0,535$	0,130
3	$y = 0,164x + -1,246$	0,002	3	$y = -1,856x + 4,34$	0,168
4	$y = 0,257x + -4,094$	0,009	4	$y = -1,127x + 2,44$	0,221
5	$y = 2,591x + -8,505$	0,545	5	$y = -1,005x + 1,886$	0,144
6	$y = -0,084x + 3,791$	0,001	6	$y = -0,662x + 1,378$	0,133

Peso de mil granos			Longitud		
Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²	Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²
1	$y = -6,277x + 18,552$	0,275	1	$y = -5,154x + 14,628$	0,351
2	$y = -2,388x + 5,112$	0,254	2	$y = -2,21x + 5,648$	0,281
3	$y = -5,798x + 16,992$	0,516	3	$y = -0,227x + -0,641$	0,022
4	$y = -4,927x + 15,849$	0,676	4	$y = -0,021x + 0,069$	0,000
5	$y = -3,726x + 12,433$	0,705	5	$y = 0,424x + -2,659$	0,055
6	$y = -1,621x + 4,279$	0,181	6	$y = 1,323x + -5,359$	0,610

Diámetro		
Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²
1	$y = -4,195x + 11,19$	0,320
2	$y = -1,74x + 3,531$	0,323
3	$y = -1,001x + 2,196$	0,280
4	$y = -0,731x + 1,087$	0,259
5	$y = -0,19x + 1,356$	0,052
6	$y = -0,147x + 1,482$	0,008

Tabla 39. Ecuaciones de regresión lineal de la variedad 600 para los diferentes parámetros analizados.

Peso de grano			Peso de mazorca		
Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²	Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²
1	$y = -12,915x + 44,892$	0,918	1	$y = -12,851x + 44,621$	0,919
2	$y = -9,865x + 35,831$	0,861	2	$y = -9,81x + 35,785$	0,862
3	$y = -8,941x + 36,154$	0,691	3	$y = -8,499x + 32,848$	0,793
4	$y = -9,35x + 33,893$	0,764	4	$y = -8,968x + 32,691$	0,763
5	$y = -6,423x + 27,145$	0,526	5	$y = -6,044x + 25,958$	0,524
6	$y = -5,574x + 14,055$	0,623	6	$y = -4,975x + 12,236$	0,362

Número de granos			Peso específico		
Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²	Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²
1	$y = -12,049x + 38,307$	0,822	1	$y = -7,363x + 24,916$	0,454
2	$y = -7,792x + 23,831$	0,584	2	$y = -3,396x + 14,469$	0,881
3	$y = -6,0382x + 22,6$	0,536	3	$y = -2,498x + 13,481$	0,314
4	$y = -7,375x + 24,84$	0,627	4	$y = -1,602x + 8,541$	0,169
5	$y = -3,102x + 17,812$	0,153	5	$y = -1,892x + 8,586$	0,289
6	$y = -5,571x + 18,361$	0,481	6	$y = -1,715x + 7,158$	0,545

Peso de mil granos			Longitud		
Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²	Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²
1	$y = -8,092x + 27,233$	0,522	1	$y = -7,005x + 21,622$	0,761
2	$y = -4,136x + 17,906$	0,651	2	$y = -5,049x + 15,867$	0,649
3	$y = -4,774x + 20,315$	0,47	3	$y = -3,347x + 11,285$	0,571
4	$y = -3,426x + 13,782$	0,591	4	$y = -2,604x + 8,725$	0,462
5	$y = -3,989x + 11,448$	0,644	5	$y = -0,917x + 5,029$	0,081
6	$y = 0,687x + -7,182$	0,023	6	$y = -0,259x + -0,668$	0,014

Diámetro		
Mom.	Curva de ajuste lineal	R ²
1	$y = -6,027x + 18,839$	0,588
2	$y = -3,008x + 10,228$	0,458
3	$y = -1,924x + 7,103$	0,492
4	$y = -2,078x + 7,308$	0,399
5	$y = -1,857x + 8,369$	0,395
6	$y = -1,224x + 2,479$	0,317

Cara a la tasación de daños, hay que destacar como parámetro de mayor importancia el de peso de grano, es decir, reducción de la producción total de grano. Sería el concepto equivalentes a producción total.

A partir de las ecuaciones de regresión se han calculado valores de reducción de los diferentes parámetros para temperaturas de 0 °C, -2 °C, -4 °C y -6 °C, sustituyendo estos valores por la incógnita x de las ecuaciones. Con los valores obtenidos se elaboraron las Figuras 47 a .

5.3.1. Variedad 400 (PR35Y65, PIONEER)

En las siguientes figuras se observa las reducciones teóricas para la variedad 400 en caso de sufrir heladas con temperaturas de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C.

El parámetro del **peso seco de la mazorca** se observa en la Figura 47. Como se puede apreciar, los momentos más sensibles son los dos primeros. De hecho, a $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, las pérdidas en el momento 1 son de hasta el 100 %. A partir de los momentos 3 y 4 las pérdidas se moderan bastante, de tal forma que para los dos últimos momentos las mermas son mínimas. Este parámetro, junto con el peso del grano, es el más sensible al efecto del frío.

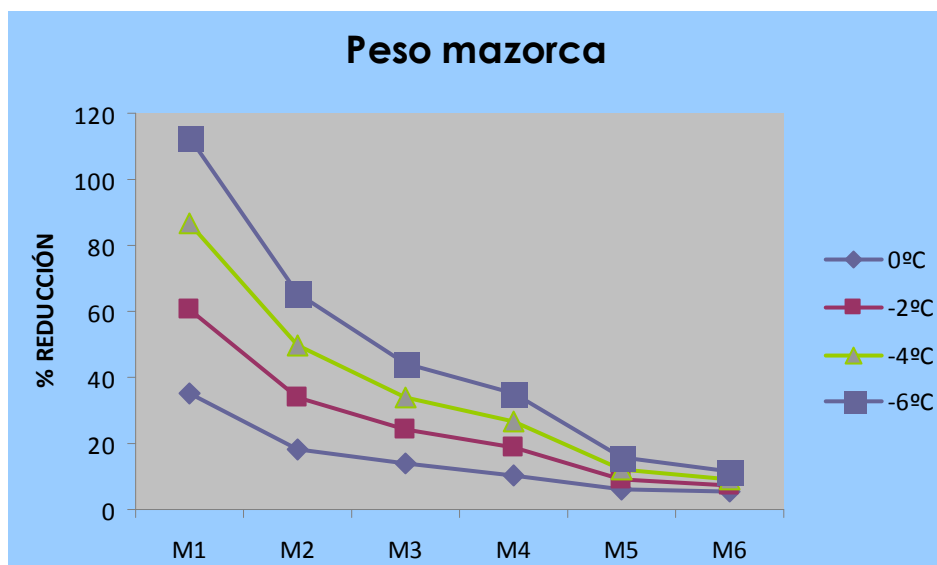


Figura 47. Curvas de reducción del peso seco para la variedad 400 con temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en diferentes momentos de aplicación.

El parámetro del **peso total de los granos** seguiría una tendencia similar al seguido por el peso seco de la mazorca (Figura 48). Para los primeros momentos de aplicación tenemos reducciones cuantiosas para heladas severas. Excepto para el tratamiento a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, en el momento 1 estaríamos hablando de mermas superiores en todos los casos al 60 %, llegando incluso hasta un 100 %. A partir del momento 4, final del estadio lechoso, las pérdidas se situarían entre un 15-40 %, y ya para el momento 6, todas estarían por debajo del 20 %.

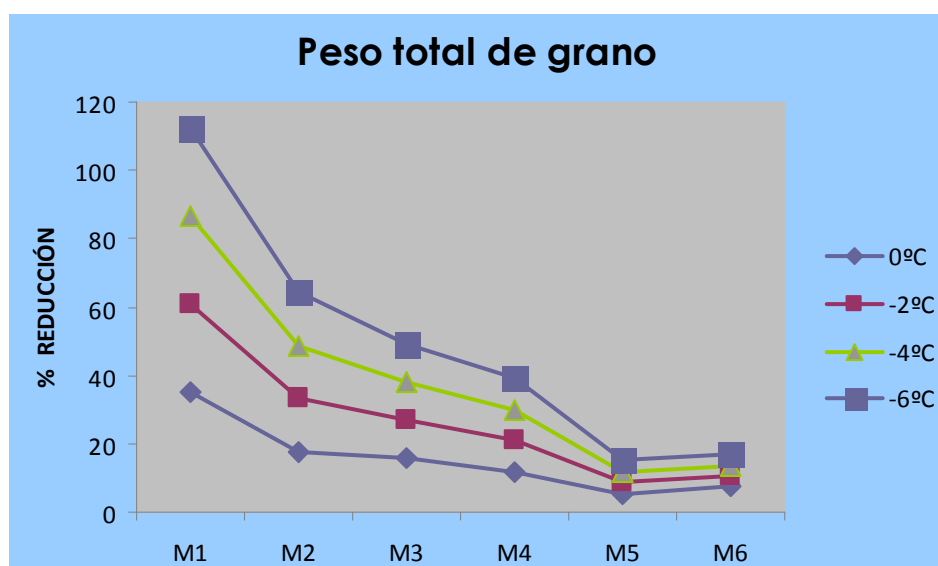


Figura 48. Curvas de reducción del peso de grano para la variedad 400 con temperatura de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

El comportamiento observado para el **número de granos** aparece en la Figura 49. La evolución seguida es distinta a la del resto de parámetros. En este caso, en los momentos 1 y 2 se daría una importante reducción del número de granos, mientras que, en el resto de momentos, prácticamente no habría reducción.

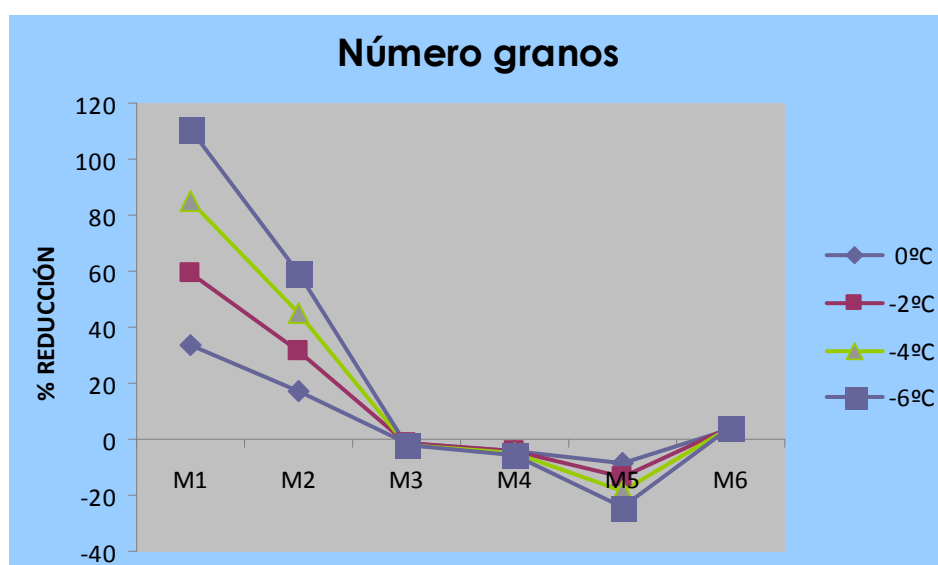


Figura 49. Curvas de reducción del número de granos para la variedad 400 con temperatura de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

La Figura 50 muestra el comportamiento del **peso específico**. Se observa que el momento 1 sería claramente el más sensible, pero con pérdidas siempre menores al

50%, a diferencia de las mermas mucho más severas que ocurrían con el peso seco, peso del grano y número de granos. Para el resto de los momentos, los descensos no pasan del 10 %.

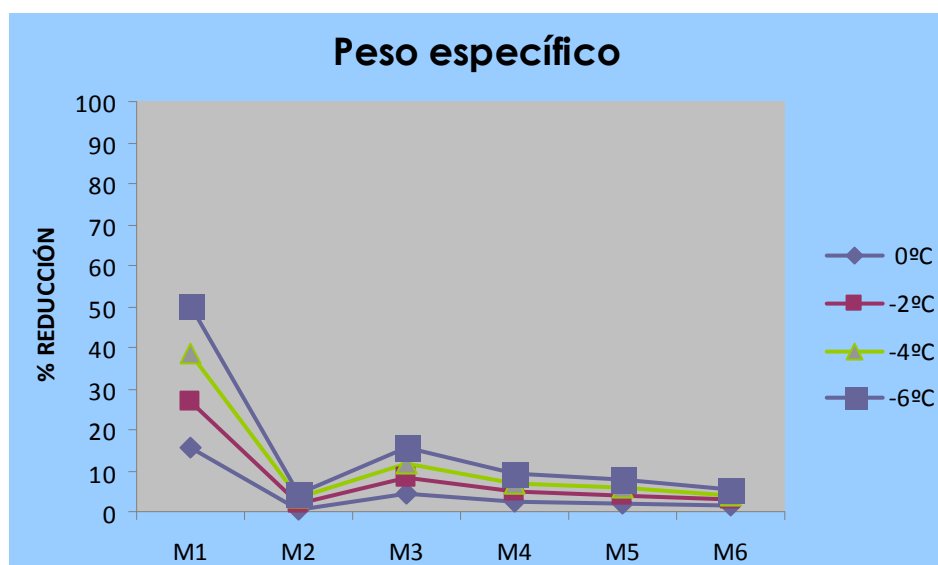


Figura 50. Curvas de reducción del peso específico para la variedad 400 con temperatura de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

Como se observa en la Figura 51, para el **peso de mil granos**, las reducciones son siempre menores al 60 %. El momento 2 no sigue una tendencia lógica respecto al resto de los momentos, atribuible a posibles errores de medición y / o cálculo. Para el resto de momentos de intervención sí que existe una evolución de reducción de pérdidas conforme más tardía es la helada.

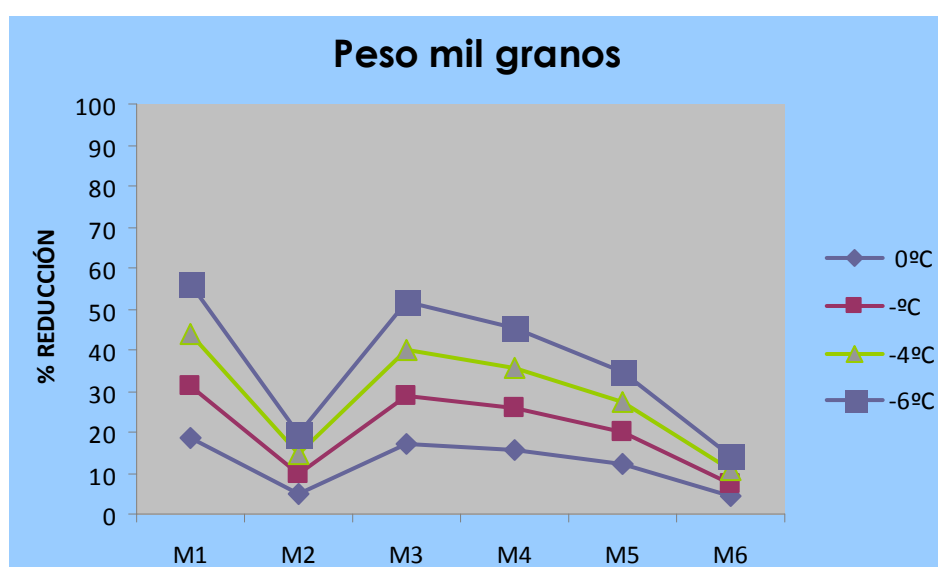


Figura 51. Curvas de reducción del peso de mil granos para la variedad 400 con temperatura de 0 °C, -2 °C, -4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

El comportamiento del parámetro de **longitud** (Figura 52) se asemeja bastante al registrado por el número de granos, en cuanto a que a partir del momento 3, las pérdidas prácticamente son nulas. Para los dos primeros momentos existen reducciones, aunque muchísimo menores que para el resto de parámetros estudiados, excepto el diámetro, que muestra unos valores similares.

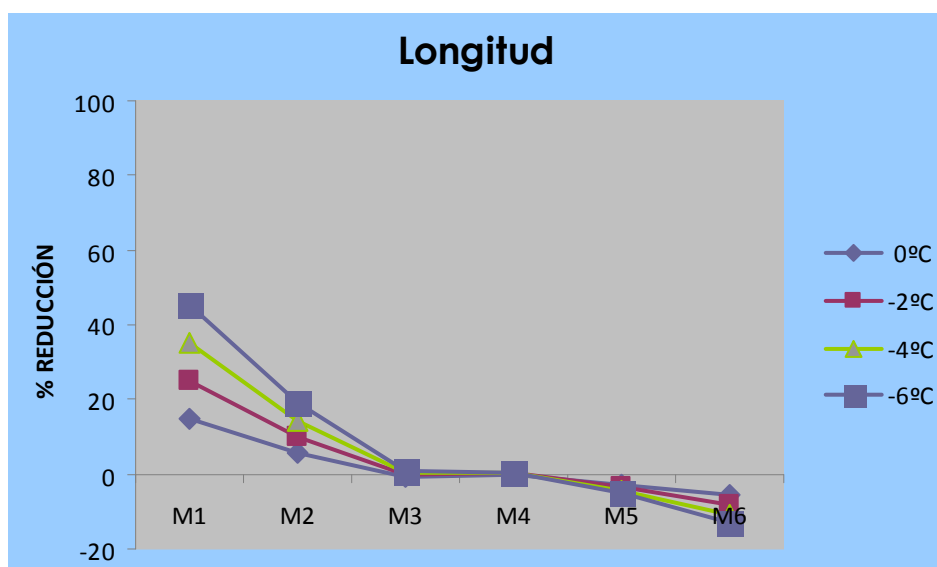


Figura 52. Curvas de reducción de la longitud para la variedad 400 con temperatura de 0 °C, -2 °C, -4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

El parámetro **diámetro** se observa en la Figura 53. Como se ha mencionado, registra unos valores bastante similares a las reducciones en longitud. El momento 1 nuevamente sería el más sensible y los daños irían disminuyendo hasta ser prácticamente nulos en el momento 6.

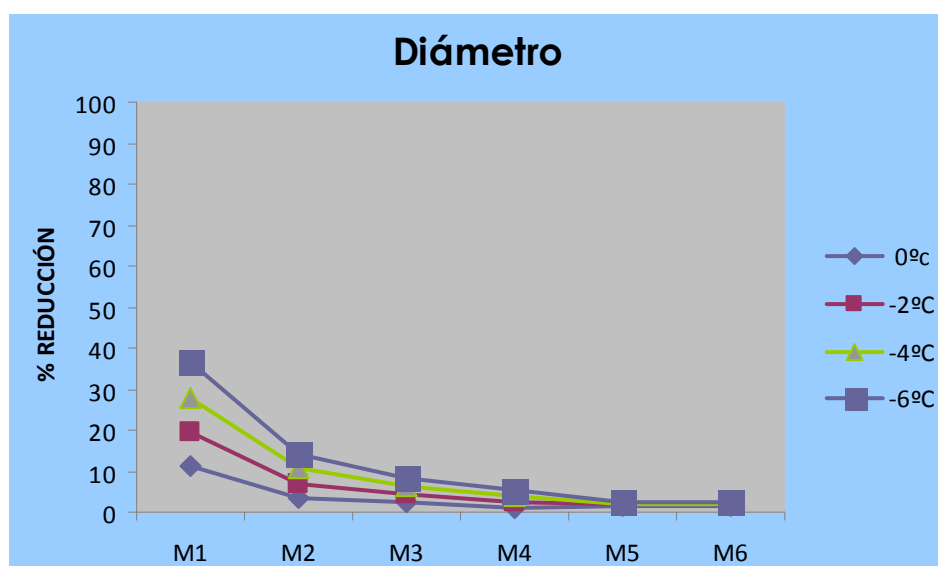


Figura 53. Curvas de reducción del diámetro para la variedad 400 con temperatura de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

5.3.2. Variedad 600 (PR35Y74, PIONEER)

En las siguientes figuras se observa las reducciones teóricas para la variedad 600 en caso de sufrir heladas con temperaturas de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C.

El parámetro del **peso seco de la mazorca** se observa en la Figura 54. La variedad 600 muestra reducciones más importantes que la variedad 400. Hasta el cuarto momento de aplicación, las reducciones son superiores al 50 % para temperaturas inferiores a 0 °C.

Si que a partir del final del estadio lechoso las pérdidas disminuyen de manera clara, aunque siguen siendo en valores absolutos, superiores a las registradas en la variedad 400. Nuevamente, el peso seco de la mazorca es el parámetro más sensible al frío junto al del peso del grano.

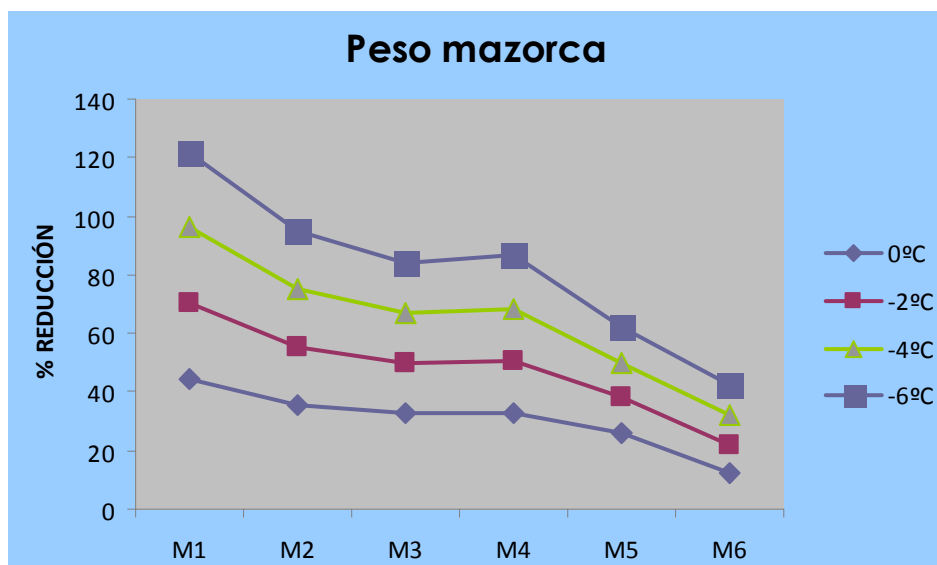


Figura 54. Curvas de reducción del peso seco para la variedad 600 con temperatura de 0 °C, -2 °C, -4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

El parámetro del **peso total de granos** seguiría una tendencia similar al seguido por el peso seco de la mazorca (Figura 55). Para los primeros momentos de aplicación tenemos reducciones cuantiosas para heladas severas. Excepto para el tratamiento a 0 °C, en el momento 1 estaríamos hablando de mermas superiores en todos los casos al 70 %, llegando incluso hasta un 100 %. Existe un amplio intervalo de daño según de qué tratamiento se trate. Por ejemplo, en el momento 4, si se trata de una helada a 0 °C se tendrían unas pérdidas en torno al 30 %, mientras que si la helada es a -6 °C, nos iríamos a mermas de hasta el 90 %.

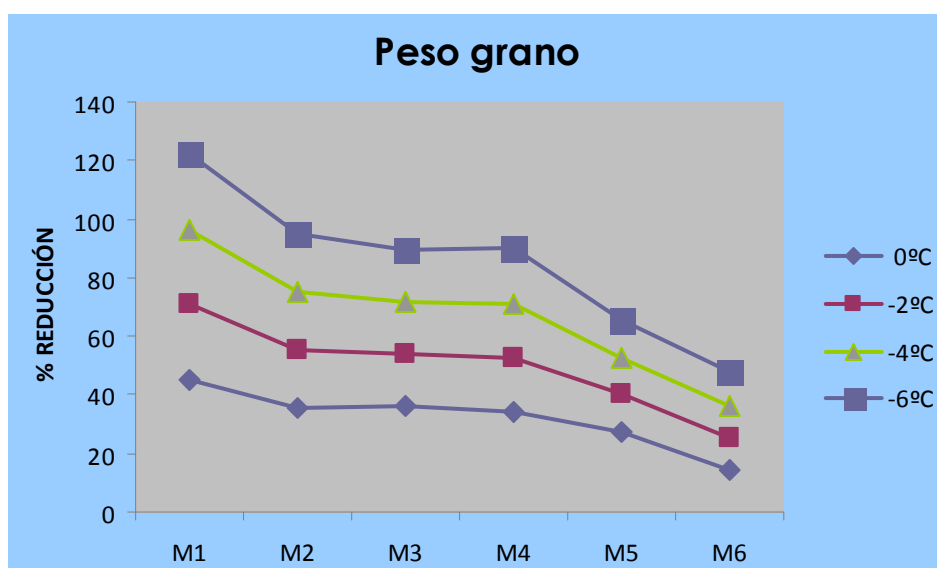


Figura 55. Curvas de reducción del peso de grano para la variedad 600 con temperatura de 0 °C, -2 °C, -4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

El comportamiento observado para el **número de granos** aparece en la Figura 56. La evolución es distinta a la que seguía la variedad 400. En este caso, en todos los momentos se daría una reducción del número de granos.

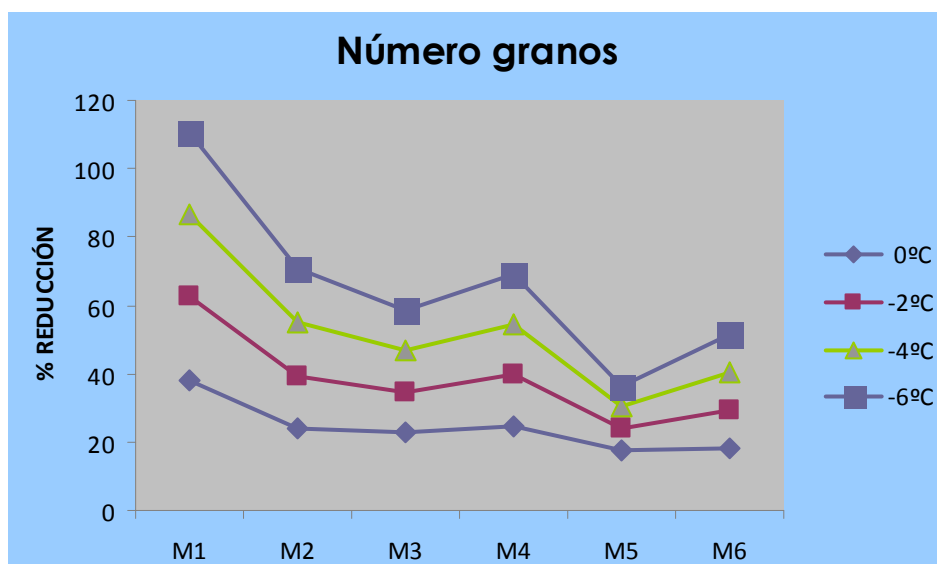


Figura 56. Curvas de reducción del número de granos para la variedad 600 con temperatura de 0 °C, -2 °C, -4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

La Figura 57 muestra el comportamiento del **peso específico**. Se observa que el momento 1 sería claramente el más sensible, con pérdidas entre el 25-75%, mermas más modestas que en el caso del peso seco, peso del grano y número de granos. Para el resto de los momentos, los descensos siguen una tendencia a la baja.

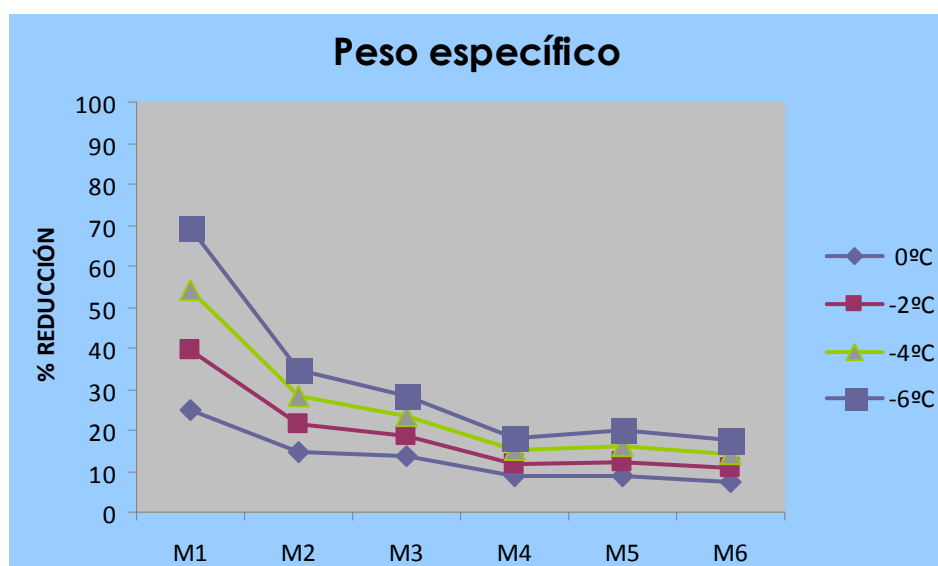


Figura 57. Curvas de reducción del peso específico para la variedad 600 con temperatura de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

Como se observa en la Figura 58, para el **peso de mil granos**, las reducciones son siempre menores al 50 % excepto para heladas severas en el momento 1. Ya para los momentos 4 y 5 los descensos en peso se moderan, y en el momento 6 se puede apreciar como ya no existen pérdidas.

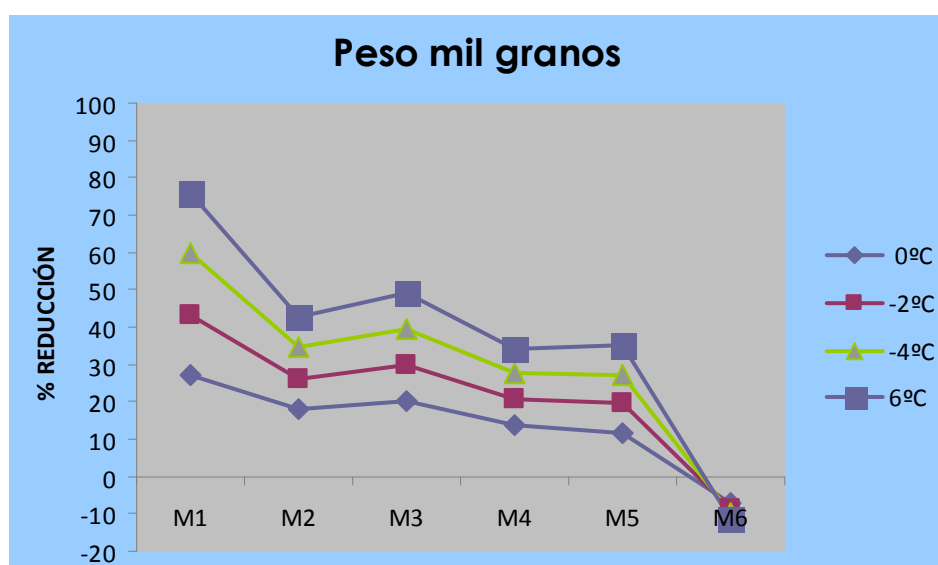


Figura 58. Curvas de reducción del peso de mil granos para la variedad 600 con temperatura de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

El comportamiento del parámetro de **longitud** (Figura 59) sigue una clara tendencia descendente, en cuanto en tanto la helada va siendo más tardía. Para el momento 5 las

pérdidas se encuentran por debajo del 10 %, y para el momento 6, son prácticamente nulas. En los momentos anteriores sí que esta variedad parece ser más sensible al frío que la variedad 400.

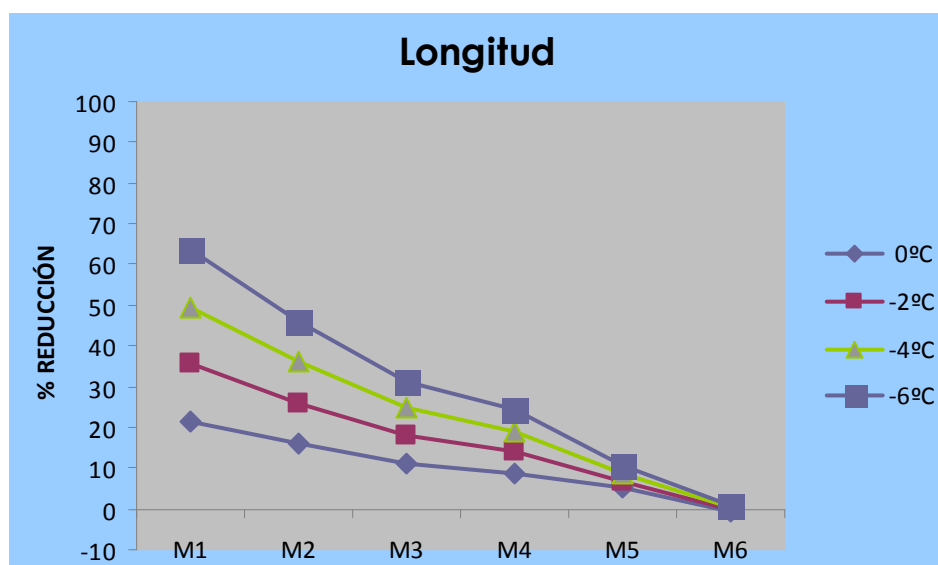


Figura 59. Curvas de reducción de la longitud para la variedad 600 con temperatura de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

El parámetro **diámetro** se observa en la Figura 60. El momento 1 nuevamente sería el más sensible y los daños irían disminuyendo hasta ser casi nulos en el momento 6. Los resultados muestran que el diámetro es el parámetro menos influenciado por el efecto del frío para esta variedad.

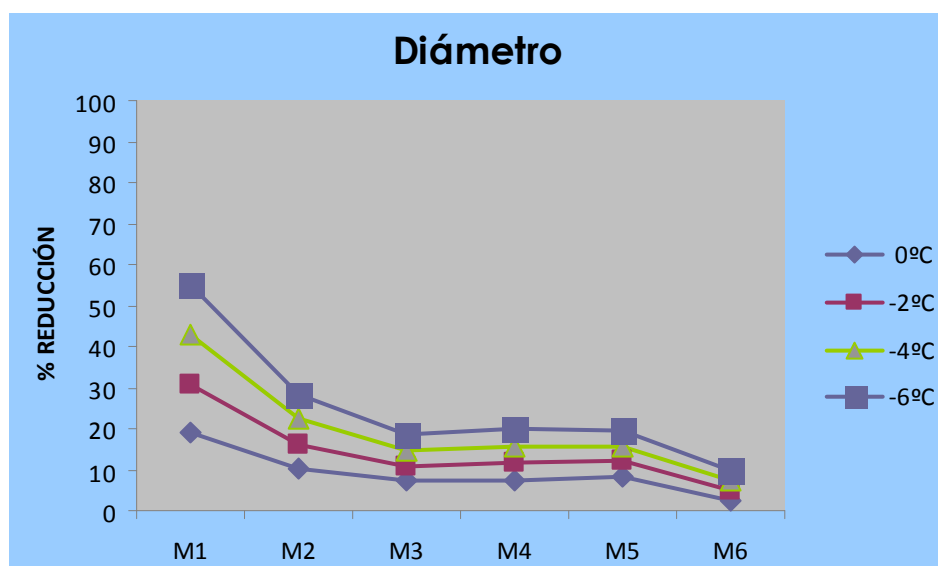


Figura 60. Curvas de reducción del diámetro para la variedad 600 con temperatura de 0 °C, -2 °C, - 4 °C y -6 °C en diferentes momentos de aplicación.

6. Conclusiones

- En los controles realizados a las 24-48 horas de la helada, se observaron síntomas comunes para las dos variedades de maíz utilizadas, y en el caso de la helada de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, se advirtieron señales mucho más claras que en el caso de la helada a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

De hecho, para la helada suave, las distintas zonas de la planta se mantuvieron aparentemente intactas y de color verde. Sin embargo, tras la helada fuerte, las plantas de maíz comenzaron a tomar un color negruzco, las hojas se fueron secando, los tejidos dañados comenzaron a marchitarse y algunos de los tallos perdieron consistencia e incluso en algunas plantas en las que la helada se aplicó en los momentos fisiológicos iniciales, los tallos se rompieron. Se vio como la zona de inserción de la mazorca en el tallo perdía consistencia y las mazorcas quedaban colgando.

- Al mes de cada uno de los momentos de intervención, la sintomatología visual y aspecto de las planta había ido adquiriendo gradualmente síntomas más claros y graves. Las diferencias entre las plantas de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ se hicieron más palpables. Mientras que la gran mayoría de las plantas sometidas a helada suave seguían sin ofrecer síntoma aparente alguno de haber sufrido daños, las plantas que habían sido tratadas a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ presentaban un aspecto marchito, con caída de hojas y debilitamiento del tallo.
- En cuanto al estado de las mazorcas, al mes de la helada si que se puede decir que hay diferencias entre las mazorcas de plantas testigo y de las plantas heladas a -3°C , sobre todo si se trata de los momentos de intervención iniciales, M1, M2 y M3 especialmente.

A partir del cuarto momento las diferencias en general son menores. En lo referido a las heladas a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, los daños en las mazorcas son muy inferiores, y a partir del segundo momento de intervención, prácticamente no hay lesiones que puedan atribuirse a efectos de la helada. Los efectos más severos visualmente fueron granos sin llenar, mas pequeños, e incluso granos que habían comenzado a germinar. Las plantas de ciclo 400 y 600 no presentaban grandes diferencias en cuanto a sintomatología visual. Cara a la impresión de los daños provocados por heladas, es necesario dejar pasar alrededor de 1 mes para obtener señales visuales de daño en mazorcas.

- Se observaron diferencias visuales en el aspecto general de las mazorcas testigo y las mazorcas sometidas a helada, para las dos variedades, en los controles finales. Asimismo, también se observaron diferencias en el aspecto de los granos. Los granos de las plantas sometidas a helada fueron de menor tamaño que los de las plantas testigo y, especialmente aquellos de las plantas sometidas a helada en los momentos mas cercanos a la floración. Asimismo, se observo que los granos de las plantas heladas en muchos casos no estaban completamente llenos.

- En cuanto a la variedad de ciclo 400, en general, las heladas a 0 °C no tienen ninguna influencia negativa en el resultado final. En el caso de las heladas a – 3 °C, especialmente para los parámetros de peso, el momento 1 (floración) se muestra como el momento más sensible, seguido en la mayor parte de los casos por los momentos 2 (semillas en vesícula), y 3 (madurez lechosa). Se observa claramente que la helada causada en floración a – 3 °C hizo que las mermas fueran altamente significativas. En el caso de los momentos 2 y 3, se trata de momentos iniciales de formación y llenado del grano, por lo que las heladas habrían causado un parón en este proceso haciendo también que las mazorcas no tengan un desarrollo normal. Se observa, en la mayoría de los casos, que las heladas tienen un menor efecto sobre la mazorca cuanto más tardío es su desarrollo. Para los dos últimos momentos de intervención, en general no hay mermas de especial relevancia.

- Al igual que en la variedad 400, la variedad de ciclo 600 muestra en el momento 1 (floración) su mayor sensibilidad a las heladas, seguido por el momento 2 (semillas en vesícula). En general, para todos los parámetros, las heladas a 0 °C tienen menor influencia negativa en el resultado final que las heladas a – 3 °C. Sin embargo, de los resultados obtenidos se deduce que, la influencia de la helada de 0 °C sobre los parámetros finales es mayor en la variedad de 600 que en la de 400, por lo que se puede concluir que la de ciclo 600 es más sensible.

Con todo ello:

- la variedad de ciclo 600 es más sensible que la variedad de ciclo 400 para los tratamientos de frío a las que han sido sometidas.

- los tratamientos a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ producen mermas más severas en los resultados finales que los tratamientos a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- las heladas en los momentos fisiológicos iniciales, sobre todo en floración, causan mayores daños que en momentos fisiológicos más tardíos.

- el parámetro más influenciado por el frío es el peso seco de la mazorca y el peso total de granos por mazorca.

7. Bibliografía

- ALDRICH, S.R.; W.O. SCOTT; R.G. HOEFT. 1986. Modern corn production. 3ª edición. A y L Publications, Inc., Champaign, Illinois, EUA. 358p.
- AFUAKWA, J.J.; R.K. CROOKSTON; R.J. JONES. 1984. Effect of Temperature and Sucrose Availability on Kernel Black Layer Formation in Maize. *Crop Sci.* **24**: 285-288.
- AROCA, R.; P. VERNIERI; J.J. IRIGOYEN; M. SANCHER-DIAZ; F. TOGNONI; A. PARDOSSI. 2003 Involvement of abscisic acid in leaf and root of maize (*Zea mays L.*) in avoiding chilling-induced water stress. *Plant Science* **165**: 671–679.
- BALCARCE, A. 2006. Calidad del grano del maíz. Departamento de Producción Animal y Vegetal. Univ. Nacional de la Plata, Argentina.
- BARIMAVANDI, A.R. 2010. Effect of Different Defoliation Treatments on Yield and Yield Components in maize (*Zea mays L.*) Cultivar of S.C704. *Australian Journal of Crop Science* **9**: 73-87.
- BARTOLINI, R. 1990. El maíz. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- BECHOUX, N.; G. BERNIER; P. LEJEUNE. 2000. Environmental effects on the early stages of tassel morphogenesis in maize (*Zea mays L.*). *Plant, Cell & Environment*. **23**: 91–98.
- BURGOS, J.J. 1963. Las heladas en la Argentina. Colección Científica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 30 pp.
- BREMER J. E.; C.D. COFFMAN; S.D. LIVINGSTON. 1995. Assessing Hail and Freeze Damage to Field Corn and Sorghum. Texas Agricultural Extension Service.
- BROWN, A. 1999. Influence of Delayed Planting on Growing Degree Day Requirements of Corn (*Zea mays L.*) Hybrids During Grain Fill and Maturation. M.S. Thesis, Purdue University.

- BUSTOS, F.; M. GONZÁLEZ; P. DONOSO; V. GERDING; C. DONOSO; B. ESCOBAR. 2008. Efectos de distintas dosis de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas. **28**: 155-161.
- CARTER, P.R. 1995. Late-Spring Frost and Postfrost Clipping Effects on Corn Growth and Yield J. Prod. Agric. **8**: 203-209.
- CHEFTEL, J.C.; J.L. CUQ; D. LORIENT. 1989. "Proteínas Alimentarias". Ed. Acribia. Zaragoza.
- COYUNTURA AGRARIA. 2010. Superficies y Producción Agrícolas.
- DA MOTTA, F. 1961. Heladas de primavera en Río Grande del Sur. Cir. Inst. Agron. Brasil. **1**: 1-15
- FAIGUENBAUM, H. 1990. Crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz. **1**: 51-75.
- FAROOQ, M.; B. SMA; H. REHMAN; B. SALEEM. 2008. Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving the chilling tolerance. Journal of Agronomy and Crop Science **194**: 55–60
- FAROOQ, M; T. AZIZ; A. WAHID; D.J. LEEC; K. SIDDIQUE. 2009. Chilling tolerance in maize: agronomic and physiological Approaches. Crop & Pasture Science, **60**: 501–516.
- FAO (Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y Alimentación). 2010. Producción mundial de maíz en 2008.
- FERNÁNDEZ, A. 2006. El sistema español de seguros agrarios. Boletín Económico ICE **883**: 87-99.
- FLORISTÁN, A. 1995-2000. Geografía de Navarra, Volumen 2. Diario de Navarra,

Pamplona.

- FOYER, C.H; H. VANACKER; L.D. GOMEZ; J. HARBINSON. 2002. Regulation of photosynthesis and antioxidant metabolism in maize leaves at optimal and chilling temperatures. *Plant Physiology and Biochemistry* **40**: 659–668.
- GONZALEZ, U. 1995. El Maíz y su conservación. Ed. Trillas. México.
- GRIFFITHS, J.F.; D.M. DRISCOLL. 1982. Survey of climatology. p. 310. Charles E. Merrill, Columbus.
- GUADALUPE M.; L. MATÍAS RAMÍREZ; O.A. FUENTES MARILES; I. GARCÍA JIMÉNEZ. 2001. Heladas. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación, México D.F.
- GUERRERO, A. 1992. Cultivos herbáceos extensivos. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- HOSENEY, R.C. 1991. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Ed. Acribia. Zaragoza
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 2010. Atlas Nacional de España.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). 2010. Censo Agrario 1999.
- INM (Instituto Nacional de Meteorología). 2010. Resúmenes Climatológicos.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2010.
- KRATSCH, H.A; R.R.WISE. 2000. The ultrastructure of chilling stress. *Plant, Cell & Environment* **23**: 337–350.
- KUNKEL, K.E.; S.E. HOLLINGER. 1995. Late spring freezes in the central USA: Climatological aspects. *J. Prod. Agric.* **8**:190-198.
- LADLIE, J.S. 1993. Corn diagnostic manual. Sandoz Crop Protection, Hollandale,

Minnesota, EUA.

- LAUER, J. 2004. Methods for Calculating Corn Yield. Agronomy Advice, Univ. of Wisconsin-Madison.
- LONG, S.P. 1983. C4 photosynthesis at low temperatures. *Plant, Cell & Environment* **6**: 345–363.
- LEE, C.B.; H. HAYASHI; B.Y.MOON. 1997. Stabilization by glycinebetaine of photosynthetic oxygen evolution by thylakoid membranes from *Synechococcus* **7**: 296–299.
- LEIPNER, J. 2009. Chilling stress in maize: From physiology to genetics and molecular mechanisms. Submitted to the Department of Agricultural and Food Sciences ETH Zurich.
- LEIPNER, J.; P. STAMP. 2009. Chilling stress in maize seedlings. In ‘Handbook of maize: its biology’. (Eds LJ Bennetzen, SC Hake) pp. 291–310.
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino). 2010. El Sistema Español de Seguros Agrarios.
- MAROCCO, A.; C. LORENZONI; Y. FRACHEBOUD. 2005. Chilling stress in maize. *Maydica* **50**: 571–580.
- MOREIRAS, O.; A. CARVAJAL; L. CABRERA. 1996. Tablas de composición de los Alimentos. Ed. Pirámide. Madrid.
- NAYYAR, H; T. BAINS; S. KUMAR. 2005. Low temperature induced floral abortion in chickpea: Relationship with abscisic acid and cryoprotectants in reproductive organs. *Environmental and Experimental Botany* **53**: 39–47.
- NIELSEN, R.L. 2008. Grain Fill Stages in Corn. Corny News Network. Department of Agronomy, Purdue University.

- NIELSEN, R.L. 2009. Effects of Stress During Grain Filling in Corn. Corny News Network, Purdue University.
- PASCUAL, M.J. 1999. Efecto de las heladas tempranas sobre el crecimiento de la coliflor de Otoño-Invierno. UPNA.
- RAWSON, H.M.; M. ZAJAC; L.D.J. PENROSE. 1998. Effect of seedling temperature and its duration on development of wheat genotypes differing in vernalization response. *Field Crops Res.* **57**: 289-300.
- RITCHIE, S.W.; J.J. HANWAY; G. BENSON. 1993. ¿Cómo se desarrolla una planta de maíz?. Universidad Estatal de Iowa CES Informe Especial **48**: 21 pp.
- ROMO, G.; R. ARTEAGA. 1989. Meteorología agrícola. 297-372 pp. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Irrigación, México.
- SOWINSKI, P.; A. RUDZINSKA-LANGWALD; J. ADAMCZYK; I. KUBICA; J. FRONK. 2005. Recovery of maize seedling growth, development and photosynthetic efficiency after initial growth at low temperature. *Journal of Plant Physiology* **162**: 67–80.
- THAKUR, P.; S. KUMAR; J.A. MALIK; J.D. BERGER; H. NAYYAR. 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview *Environmental and Experimental Botany* **67**: 429–443.
- VERHEUL, M.J.; P. HASSELT; P. STAMP. 1995. Comparison of maize inbred lines differing in low temperature tolerance effect of acclimation at suboptimal temperature on chloroplast functioning. *Annals of Botany* **76**: 7–14.
- VORST, J.V. 1990. Assessing hail damage to corn. *National Corn Handbook NCH-1*: 4 pp.
- WEISZ, P. 1986. La ciencia de la biología. Ed. Omega. Barcelona

- XING, W.; C.B. RAJASHEKAR. 2001. Glycine betaine involvement in freezing tolerance and water stress in *Arabidopsis thaliana*. *Environmental and Experimental Botany* **46**: 21–28.